# PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

vereinigt mit dem

JAHRBUCH DER RADIOAKTIVITÄT UND ELEKTRONIK

Nr. 14 — 15. Juli 1929 — Redaktionsschluß für Nr. 16 am 1. August 1929. — 30. Jahrgang


INHALT:


**Originalmitteilungen:**

J. Zenneck, Das Physikalische Institut der Technischen Hochschule München. S. 433.

F. M. Exner, Energiegleichung zur Berechnung des Widerstandes und der Fallgeschwindigkeit von Steinen im Wasser. S. 458.

M. Czerny u. H. Murmann, Über die Sauggeschwindigkeit einer rotierenden Ölpumpe. S. 462.

J. Kunz, Ein Diagramm der physikalischen Eigenschaften der Kristalle. S. 463.

H. Maurer, Bemerkung zu den Messungen der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum. S. 464.


## ORIGINALMITTEILUNGEN.

### Das Physikalische Institut der Technischen Hochschule München.


Von J. Zenneck.


Nach einer durch die finanziellen Verhältnisse erzwungenen langen Bauzeit ist das Physikalische Institut im Anfang des Wintersemesters 1926/27 in Betrieb genommen worden. Für Architekten liegt eine Beschreibung vor[1]). Vom Standpunkt des Physikers berichte ich über das Institut absichtlich erst jetzt. Ich wollte abwarten, welche Erfahrungen wir mit den Einrichtungen machen würden. Auch jetzt soll die Beschreibung nicht vollständig sein; es würde keinen Zweck haben, auf Dinge einzugehen, die in jedem physikalischen Institut vorhanden sind.

Das Institut liegt im südlichen Erweiterungsbau der Technischen Hochschule. Das Keller- und Erdgeschoß ist ausschließlich für das physikalische Institut bestimmt, vom 1. und 2. Stock nur der große Physikhörsaal mit Zubehör. Außerdem ist für das Institut ein Teil des Daches als nahezu horizontale Fläche ausgebildet.

#### I. Kellergeschoß (Fig. 1).

a) Werkstätte. Zur mechanischen Werkstätte gehören drei Räume (Fig. 1: 5a, b, c). In dem Hauptraum (5a) stehen die Maschinen (Shaping-, Bohrmaschine, Drehbänke usw.), alle mit elektrischem Einzelantrieb, bei den meisten die Motoren mit Vorgelege an der Decke, bei einigen am Boden. An der Wand, rechts vom Eingang nach 5c, befindet sich ein großer Materialschrank für die am meisten verarbeiteten Materialien. Der kleinere Raum (5b), der wie der Hauptraum gutes Licht durch Fenster mit Lichtschächten von der Straße bekommt, dient feineren Arbeiten und der Aufbewahrung und Zusammensetzung fertiger Teile. Der dritte Raum (5c) mit geringer Beleuchtung von der Straße enthält die Schmiede mit Kamin und einen Abzug für Arbeiten, die irgendwelche für Menschen oder Maschinen schädliche Dämpfe entwickeln. Die drei Werkstatträume sind nur durch die Türe, die in den großen Raum (5a) führt, zugänglich. Diese kann nur durch einen besonderen, nicht durch den allgemeinen Institutsschlüssel geöffnet werden: es ist nicht erwünscht, daß während der Abwesenheit der Mechaniker irgendwelche Institutsangehörige sich in der Werkstatt betätigen (vgl. Praktikantenwerkstatt S. 437).

b) Raum für Luftverflüssigung (Fig. 1: 6). Der zweistufige Kompressor mit 6,5 PS-Siemens-Schuckert-Motor liefert 200 Atm. für den Gegenstromapparat neuester Ausführung, den das Institut der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen verdankt. An die Kompressoranlage können bequem auch Stahlbomben angeschlossen werden, die in der Vorlesung bei Versuchen mit Druckluft Verwendung finden.

In dem Raum, dessen Boden mit Gully versehen ist, ist auch der Apparat zur Wasserdestillation und derjenige für die Destillation von Quecksilber untergebracht.

1) Der Erweiterungsbau der technischen Hochschule in München: „Die Bauzeitung" **24**, 169—173, 1927.

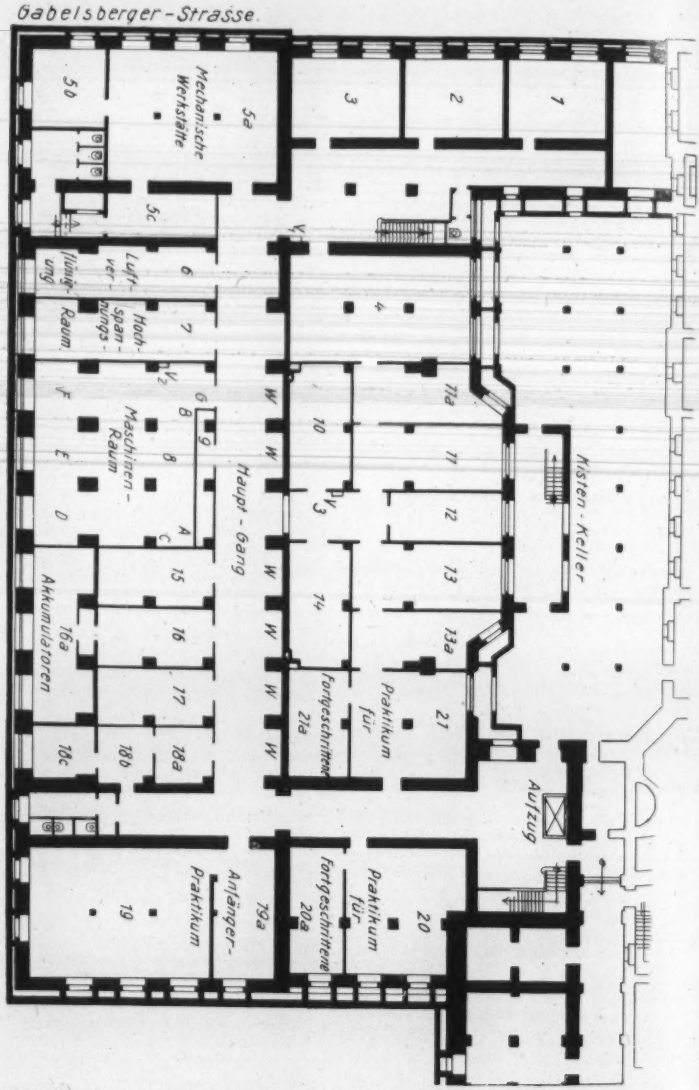



Fig. 1. Plan des Kellergeschosses.

c) Hochspannungsraum (Fig. 1: 7) (vgl. Elektrische Anlagen, S. 456/457.).

d) Maschinenraum (Fig. 1: 8 u. Fig. 2). Der Maschinenraum besteht aus drei Achsen. Sie und ebenso auch der Hochspannungsraum und derjenige für die Luftverflüssigung sind wie die normalen Arbeitszimmer (vgl. S. 436) eingerichtet: sie haben ausreichende Beleuchtung, Wasser-,

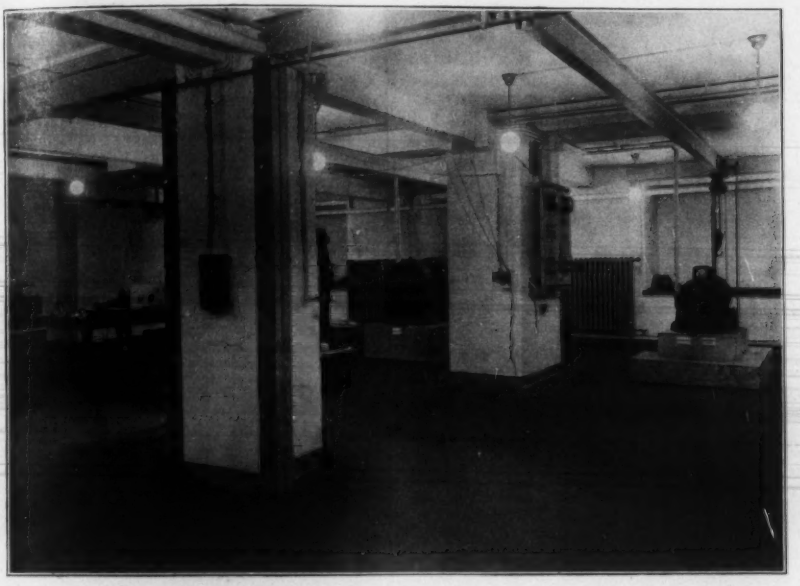


Fig. 2. Maschinenraum.

Gas-, Zentralen- und Vakuumanschluß[1]). Infolge davon können dort wissenschaftliche Arbeiten ausgeführt werden[2]), bei denen eine Beaufsichtigung und Regelung der Maschinen an Ort und Stelle erwünscht ist. Das ist der Grund, weshalb diese Räume größer gebaut wurden, als für die Aufstellung der Maschinen nötig gewesen wäre.

An der Decke aller drei Achsen und in ihrer Längsrichtung läuft eine Doppel-T-Schiene, an der ein verschiebbarer Flaschenzug von 1500 kg Tragkraft angebracht werden kann. In jeder der drei Achsen steht ein Motorgenerator (Fig. 1: 8 *D*, *E*, *F*). Die westliche Wand ist völlig durch die Verteilertafel (*A B*) eingenommen. An der nördlichen, bei *C*, befindet sich das Ladeaggregat für die Akkumulatorenbatterie (vgl. Elektrische Anlage).

e) Akkumulatorenraum (Fig. 1: 16a) (vgl. Elektrische Anlage). Der Akkumulatorenraum ist durch eine Doppeltüre von dem Arbeitszimmer Nr. 16 aus zugänglich. Der Boden ist aus Klinker mit Gully. Ein Ventilator sorgt für Entlüftung und alles in dem Raum ist soweit als möglich säurefest.

f) Dunkelkammern (Fig. 1: 18a, b, c). Von den drei Räumen, in die die Dunkelkammer geteilt ist, sind die beiden äußeren (18a und c) für das Entwickeln und für das Kopieren auf Entwicklungspapier bestimmt. Sie haben längs der ganzen Wand Wandtische mit säurefestem Anstrich und Wasseranschluß mit einem Trog aus hartgebranntem Ton. Auf dem Boden des Troges befindet sich ein Gitter aus Latten, damit Glas- oder Porzellanschalen beim Aufstellen nicht unmittelbar mit dem sehr harten Tonboden in Berührung kommen.

Der mittlere Raum (18b) enthält einen Abzug mit Wasseranschluß und Tontrog, der zum Entwickeln gebraucht werden kann. Bestimmt ist der Raum für alle möglichen Arbeiten, die Dunkelheit verlangen. Er ist deshalb auch wie die normalen Arbeitszimmer mit einem Schaltbrett ausgestattet, das an die Verteilertafel des Instituts angeschlossen ist. In dem Raum ist aufgestellt ein Vergrößerungsapparat für Negative bis 9×12 und eine Atelierkamera 13×18. Diese Kamera dient für Reproduktionen aller Art, insbesondere für die Anfertigung von Diapositiven

[1]) Das letztere nicht in dem Raum für Luftverflüssigung.

[2]) Bei der Aufnahme Fig. 2 war die Achse am weitesten links in dieser Weise benützt.

für die Vorlesung oder Vorträge. Bei Aufnahmen aus einem Buch wird dem Objektiv ein total reflektierendes Prisma vorgesetzt; man braucht das Buch einfach auf den Wandtisch zu legen und kann dann von oben her die Aufnahme machen. Sehr viel verwendet wird der Apparat auch, um Kopien von Figuren aus Büchern oder Zeitschriften direkt auf Bromsilberpapier in vergrößertem oder verkleinertem Maßstab, z. B. für Referate, anzufertigen. Die Kopie wird natürlich weiß auf schwarz, aber infolge des total reflektierenden Prismas seitenrichtig. Entwickelt man verhältnismäßig schwach, so daß der Untergrund nicht schwarz, sondern nur grau wird, so können Buchstaben oder Bezeichnungen mit gewöhnlicher schwarzer Tinte eingetragen werden.

g) Anfängerpraktikum (Fig. 1: 19 und 19a). An der ganzen Wand verlaufen Wandtische, und zwar sowohl im kleinen (19a) als im größeren Teil (19). Die Trennung des Raums in diese beiden Teile durch eine Wand hat den Zweck, in dem kleineren Raum eine für optische Aufgaben ausreichende Dunkelheit zu halten — das in diesem Teil befindliche Fenster wird durch einen schwarzen Vorhang verdunkelt — während der größere Teil beleuchtet ist; die Anordnung gestattet außerdem bequeme Beaufsichtigung durch einen Assistenten.

h) Arbeitszimmer (Fig. 1: 1—4, 10—14, 15—17). Bei der Raumeinteilung des Kellergeschosses war der Gedanke der, möglichst viele nicht zu große Arbeitszimmer zu schaffen, die normalerweise nur für eine Arbeit, höchstens für zwei gleichzeitig dienen sollten. Eine Ausnahme bildet das für den Institutsvorstand bestimmte Arbeitszimmer 4, das ungefähr doppelt so groß ist, wie ein normales Arbeitszimmer und für Arbeiten mit besonders großem Raumbedarf oder für mehrere Arbeiten gedacht ist. Es ist auch mit einem Abzug versehen. Die nach dem Hof und der Gabelsbergerstraße gelegenen, durch Fenster gut beleuchteten Zimmer haben Verdunklungsvorrichtung. Sie fehlt in den Zimmern, die nach der Arcisstraße gelegen sind und von dort nur verhältnismäßig wenig Licht bekommen. Zwei Arbeitszimmer 10 u. 14 haben überhaupt kein Tageslicht, eignen sich also in erster Linie für optische Arbeiten.

Die normale Ausrüstung eines Arbeitszimmers besteht:

1. aus den Gasleitungen mit Anschlüssen;

2. einem Wasseranschluß (Fig. 3) mit je drei Hähnen mit auswechselbaren Mundstücken, z. B. für Schlauchanschluß, und Becken aus hartgebranntem Ton mit einem Einsatz aus einem Lattengitter (vgl. Dunkelkammer S. 435). Die Wasseranschlüsse sind möglichst in der Mitte der Längswand der Zimmer angebracht und nicht, wie man es in vielen Instituten sieht, in einer Ecke, wo sie beim Arbeiten möglichst unbequem zugänglich sind;

3. in den meisten Zimmern Anschluß an eine der Vakuumleitungen (vgl. S. 438). Dieser Anschluß befindet sich immer unmittelbar neben dem Wasseranschluß, da die Diffusionspumpen, denen die Vakuumleitung das Vorvakuum liefern soll, stets Kühlwasser brauchen;

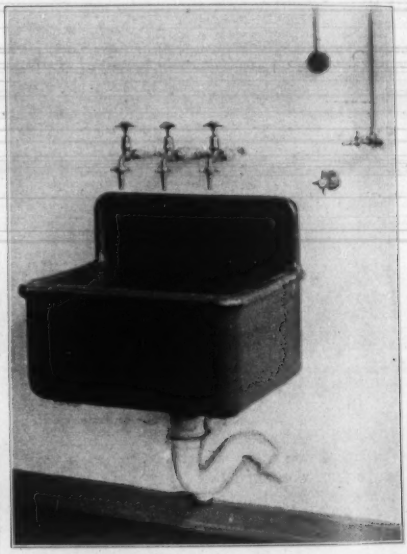


Fig. 3. Wasser-Anschluß und -Becken.

4. zwei Wandkonsolen, z. B. für Spiegelgalvanometer, an den beiden langen Seitenwänden, und zwar nicht einander gegenüber, sondern möglichst in der Diagonale;

5. einer Schalttafel (Fig. 4) für Niederspannung mit neun Anschlüssen, die zur Verteilertafel des Instituts führen (vgl. Elektrische Anlage S. 455);

6. in den meisten Zimmern ein möglichst hoch angebrachter Hochspannungsanschluß, von dem in Fig. 5 die rechte Doppelleitung geschlossen, die linke offen dargestellt ist;

7. einem Schrank für die Aufbewahrung von Materialien und ähnlichem;

8. einer Holzleiste, die in ungefähr 2 m Höhe um das ganze Zimmer herumläuft und in üblicher Weise das Einschrauben von Dübeln und ähn-

lichen zur Befestigung von Schnüren für das Aufhängen von Leitungen gestatten.

Bei dem größeren Zimmer Nr. 4 sind diese Einrichtungen verdoppelt. So sind z. B. zwei

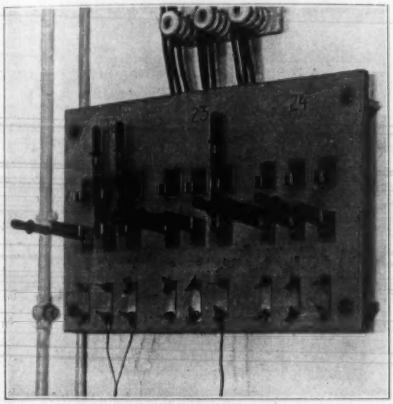



Fig. 4. Normales Niederspannungs-Schaltbrett in den Arbeitszimmern.

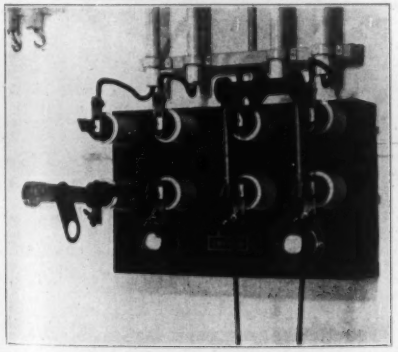


Fig. 5. Normaler Hochspannungsschalter in den Arbeitszimmern.

Wasserbecken mit Anschlüssen, ebenso zwei Schaltbretter für Niederspannung vorhanden.

Zur Ausrüstung der Arbeitszimmer gehören ferner die Wandtische, die meist um die ganze Wand, auch um die Fensterseiten herumlaufen, und freistehende Tische. Wie bei den Schaltbrettern, den Wassertrögen und Wasseranschlüssen, für die im ganzen Institut ein normales Modell verwendet ist, sind auch alle Tische, soweit sie nicht vom alten Institut herübergebracht wurden, von derselben Type. Sie sind verhältnismäßig klein (Höhe 93 cm, Tischfläche aus Eichenholz 70 × 140 cm). Durch Zusammenstellung mehrerer Tische lassen sich größere Tischflächen von verschiedener Form erhalten.

In den Wänden zwischen je zwei Arbeitszimmern derselben Reihe (z. B. Fig. 1 Zimmer 4 — 11a — 11 — 12 — 13 — 13a — 21) ist eine Lucke 35 × 45 cm angebracht, die durch einen Schiebladen verschlossen werden kann. Die Lucken derselben Zimmerreihe liegen genau in einer Linie. Es ist dadurch möglich, z. B. bei optischen Arbeiten die Lichtquelle im einen Zimmer, den Spektrographen im Nebenzimmer aufzustellen und nur durch die Öffnung im Laden das Licht hindurchzulassen. Ähnliches gilt für akustische Versuche. Ebenso ermöglichen diese Lucken im Notfall das Schaltbrett des Nebenzimmers oder eine dort stehende Maschine mit zu benützen.

Besondere Einrichtungen besitzen die Zimmer 11 und 13a. Im ersteren ist für Untersuchungen auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen eine Stabilivoltanlage von Siemens & Halske, im letzteren ein sog. Idealapparat von Reiniger, Gebbert & Schall aufgestellt. In dem großen Zimmer 4 befindet sich ferner ein kleines Schaltbrett für die acht Leitungen nach dem Dach (vgl. S. 454). Es ist mit Umschaltern versehen, durch die die Leitungen nach dem Dach bei Nichtbenützung geerdet werden.

i) Praktikum für Fortgeschrittene (Fig. 1: 20, 21 und 21a). Das Praktikum für Fortgeschrittene bildet bei der Ausbildung der technischen Physiker das Zwischenglied zwischen Anfängerpraktikum und Doktorarbeit und für Diplomingenieure, die wissenschaftlich-physikalisch arbeiten wollen, die Vorstufe zu derselben. Die dafür benützten Räume 20, 21 und 21a haben im wesentlichen dieselbe Ausrüstung und Einrichtung, wie die normalen Arbeitszimmer. Der Unterschied gegenüber den letzteren (z. B. doppelter Wasseranschluß und zwei parallel geschaltete Niederspannungsschaltbretter in Nr. 21, mehrere Konsolen) ist dadurch bedingt, daß in den Räumen von mehreren Studierenden gleichzeitig gearbeitet wird. Der Raum Nr. 21a ohne Außenbeleuchtung dient optischen Arbeiten.

k) Werkstatt für Praktikanten (Fig. 1: 20a). An das Praktikum für Fortgeschrittene (20) schließt sich die Praktikantenwerkstatt an. Sie hat Starkstromanschluß an die Gleichstromzentrale, Wasser, Gas, eine Drehbank, Glasblasetisch, einfache Werkzeuge zur Metall- und Holzbearbeitung.

l) Hauptgang (vgl. Fig. 1). An der westlichen Wand des Hauptganges im Kellergeschoß sind tiefe Schränke ($W$, Fig. 1) in die Wand eingebaut, von denen einer das Schaltbrett für die Institutsbeleuchtung, die anderen Material und Apparate aller Art enthalten. Diese Schränke haben sich ausgezeichnet bewährt; sie bilden eine sehr angenehme Entlastung für die übrigen Institutsräume.

m) Kistenkeller (vgl. Fig. 1). Sehr günstig für den Betrieb des Instituts ist auch der Kistenkeller, der durch eine Unterkellerung des Hofes gewonnen wurde. Dort sind die Kisten, in denen Apparate verpackt waren, aufbewahrt, ebenso ältere und wenig gebrauchte, sperrige Apparate. Dort befinden sich auch die Gestelle für die Fahrräder der Institutsangehörigen.

n) Allgemeines. 1. Die Unterbringung der gesamten Arbeitsräume im Kellergeschoß bedeutet nicht nur für die Hochschule eine wertvolle Ausnützung dieses Geschosses, das in den älteren Teilen der Hochschule vielfach nur für Nebenräume verwendet ist. Sie bedingt für die Arbeitsräume eine Verringerung der Temperaturschwankungen und, da der Fußboden überall auf gewachsenem Boden aufliegt, eine bemerkenswerte Freiheit von Erschütterungen, trotzdem viele Räume unmittelbar an einer Straße liegen.

2. Der Fußboden ist überall — abgesehen von dem Zimmer 13 mit Zementboden — aus Asphalt. Dieses Material wurde gewählt, da es nicht staubt, im Winter verhältnismäßig warm ist und da man hoffte, daß sich keine Ritzen bilden würden, in denen sich verschüttetes Quecksilber ansammeln könnte. Die letztere Erwartung ist nicht eingetroffen; der im Institut verwendete Asphalt hat kleine Ritzen. Da es aber nach dem Urteil der Sachverständigen ein schlechter Inflationsasphalt ist, so läßt sich nach unseren Erfahrungen nicht beurteilen, wie guter Asphalt sich in bezug auf Freiheit von Ritzen benimmt. Daß sehr schwere Apparate in den Asphalt etwas einsinken würden, war von vornherein klar, macht sich aber tatsächlich kaum störend bemerkbar und läßt sich leicht durch Unterlegen von Blechen oder ähnlichem vermeiden.

3. Anstrich von Wänden und Decken. Die Wände und Decken sind in allen Arbeitszimmern und Praktikantenräumen weiß getüncht ohne irgendeinen farbigen Ton. Es ist infolge davon bei Beschädigungen der Wände sehr leicht, den Schaden zu reparieren und unmerkbar zu machen, während es bei Reparatur von Wänden mit farbigem Ton bekanntlich sehr schwer ist, den Ton irgendeiner Wand wieder zu treffen.

In den Dunkelräumen, die ausschließlich für optische Arbeiten bestimmt sind (photographische Dunkelkammern Fig. 1: 18a—c, Dunkelräume des Anfängerpraktikums Fig. 7: 150i und k und des Praktikums für Fortgeschrittene Fig. 1: 214), haben die Wände und Decken einen dunkel-braunroten Anstrich statt des üblichen schwarzen. Für optische Arbeiten leistet dieser Anstrich denselben Dienst wie schwarzer, er wird aber nicht so rasch unansehnlich wie dieser.

4. Ventilation. Die Räume, die keine Fenster besitzen, auch das Arbeitszimmer (Fig. 1: 16) neben dem Akkumulatorenraum, haben Anschluß an einen Ventilationsschacht mit Ventilator.

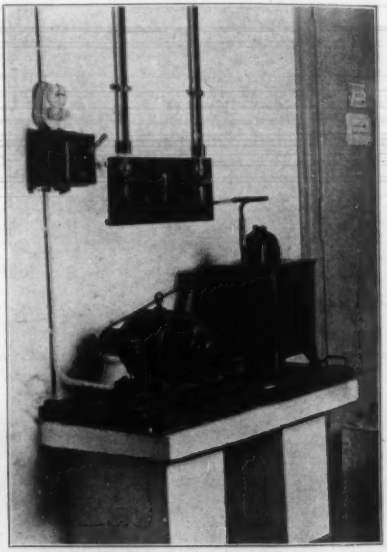


Fig. 6. Vakuumpumpe (Siemens-Schuckert).

5. Vakuumanlage (Fig. 1: $V_1$, $V_2$, $V_3$). An drei Stellen des Kellergeschosses sind Vakuumpumpen (Fig. 6) der Firma Siemens-Schuckert aufgestellt. Sie sollen für je eine Reihe von Zimmern ein mäßiges Vakuum, wie es für das Vorvakuum von Diffusionspumpen gebraucht wird, liefern. Die Leitungen zu den Zimmern sind aus Kupferrohr. Die Anlage, die von der Firma C. Herrlich, München, Kühlbachstr. 4, herrührt, wird sehr viel benützt und hat bisher nicht die geringste Schwierigkeit ergeben. Meist wird in den Arbeitszimmern an die Vakuumleitung direkt ein größerer Glaskolben angeschlossen und ausgepumpt. Er reicht dann für Stunden und unter Umständen Tage, um das

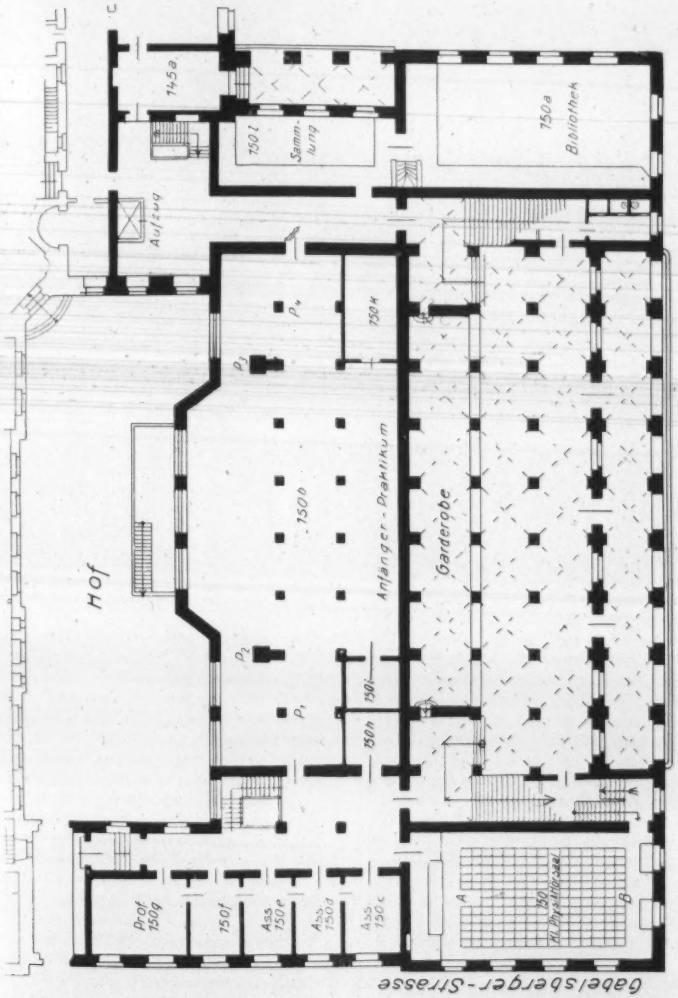



Fig. 7. Plan des Erdgeschosses.

nötige Vorvakuum zu schaffen und die Pumpen brauchen nur ganz selten in Betrieb genommen zu werden.

## II. Erdgeschoß (Fig. 7).

a) Schreibzimmer (Fig. 7: 150c—g). An der Gabelsberger Straße liegen ein größeres Zimmer des Institutsvorstandes (150 g) und vier kleinere Zimmer (150 c—f). Im ersten (150 f) neben dem Vorstandszimmer steht die Schreibmaschine, die Instituts-Registratur und der Schrank für das Schreibmaterial. Die übrigen drei Zimmer sind die Schreibzimmer der Assistenten und sind für je zwei Assistenten bestimmt. Sie haben genau die gleiche Ausrüstung (je zwei Schreibtische, je zwei kleine Schränke und einen

Fig. 8. Großes Anfängerpraktikum.

Tisch). Für experimentelle Arbeiten werden den Assistenten Arbeitszimmer des Kellergeschosses je nach der Art der Arbeit zugewiesen. Die Trennung der Schreibzimmer der Assistenten von ihren Experimentierzimmern war nötig, weil die Arbeitszimmer alle im Kellergeschoß liegen und sich deshalb nicht gut als Schreibzimmer eignen. Im alten Institut, wo für die Assistenten dasselbe Zimmer als Schreib- und Experimentierzimmer diente, haben sich manche Unzuträglichkeiten ergeben (z. B. bei dem häufigen Besuch der Assistenten durch Studierende).

b) Anfängerpraktikum (Fig. 7: 150b). Den größten Raum des Erdgeschosses nimmt das Anfängerpraktikum (Fig. 8) ein, in dem gleichzeitig ungefähr 100 Praktikanten arbeiten können. Es besitzt Linoleumbelag, Wandtische längs der Wände und um die Pfeiler ($P_1$—$P_4$) herum, im Innern freistehende Laboratoriumstische, außerdem den üblichen Anschluß für Wasser, Gas und Gleichstrom von 110 Volt. Die Waagen stehen auf Marmorkonsolen an den Pfeilern, nicht auf den an den Pfeilern angebrachten Wandtischen (vgl. Fig. 8 links), so daß sie beim Schreiben oder Auflegen der Arme auf diese Wandtische nicht in Mitleidenschaft gezogen werden. Abgeteilt sind zwei Dunkelräume (Fig. 7: 150i und k) mit braunrotem Anstrich, der größere (150k) auch mit besonderer Ventilation. Er dient für alle möglichen optischen Aufgaben, der kleinere (150i) für photometrische Messungen.

c) Kleiner Hörsaal (Fig. 7: 150 und Fig. 9). Der kleine Hörsaal hat 176 Sitzplätze, eine kassettierte Decke mit Unterzügen und Motorverdunklung der Fenster. Die zwei Wandtafeln sind so weit versenkbar, daß die weiß getünchte Wand hinter ihnen als Projektionsschirm verwendet werden kann. Eine Aussparung (Fig. 7: 150A und Fig. 9) in den zwei ersten Bankreihen nächst dem Experimentiertisch ermöglicht von dort aus irgendwelche Versuche auf die Wand zu projizieren.

Der Projektionsapparat für Diapositive (Leitzapparat mit selbstregulierender Weulelampe) steht hinter der letzten Bank (Fig. 7: 150B) und entwirft von Diapositiven $9 \times 12$ Bilder in der Größe von etwa $1{,}80 \times 2{,}40$ m² bei heruntergelassenen Tafeln auf der weißen Wand hinter der Mitte des Experimentiertisches. Diese Wand und damit die Bilder auf derselben sind von allen Sitzplätzen, auch von den äußersten Plätzen der ersten Bänke vorzüglich zu sehen. Die Lichtstärke der Bilder auf der vorzüglich reflektierenden Wand reicht auch vollkommen aus, wenn im

Fig. 9. Kleiner Physikhörsaal.

Hörsaal alle Lampen mit Ausnahme des der Tafel zunächst gelegenen Paares brennen und der Hörsaal infolge davon so gute Beleuchtung hat, als es zum Schreiben und Zeichnen wünschenswert ist. Projektion bei ausreichend beleuchtetem Saal muß das Ziel jeder vernünftigen Projektionseinrichtung sein. Die Gesichtspunkte für die Einrichtung des Experimentiertisches waren dieselben, wie beim großen Hörsaal und werden dort besprochen werden. Hier soll nur aufgezählt werden, daß der Experimentiertisch auf der den Zuhörern abgewandten Längsseite außer den Gasanschlüssen beiderseits Wasseranschlüsse mit Becken, ein Schaltbrett derselben Art, wie im großen Hörsaal mit zwei parallel geschalteten Anschlüssen an die Zentrale von $2 \times 110$ Volt Gleichstrom und mit $2 \times 3$ unabhängigen Leitungen zur Niederspannungs-Verteilertafel besitzt. Außerdem ist auf der einen Seite des Experimentiertisches Anschluß an die Hochspannungs-Verteilertafel.

Als Vorbereitungszimmer für den kleinen Hörsaal dient der Raum Fig. 7: 150k. Außerdem sind in dem Korridor vor demselben zwei Sammlungsschränke mit Glaswänden und -türen aus dem früheren Institut ausgestellt; sie enthalten Apparate für Vorlesungen im kleinen Hörsaal.

d) Bibliothek (Fig. 7: 150a). Längs derjenigen Wände, die keine Fenster haben, befinden sich die Bücherschränke mit Glastüren, in der Außenecke an der Arcisstraße zwei besondere Eckschränke für Kataloge und die ungebundenen neuen Hefte der Zeitschriften. 10 Tische geben Gelegenheit zum Lesen und Schreiben. Die Bibliothek wird von den Institutsangehörigen (Teilnehmern am Praktikum für Fortgeschrittene und Doktoranden) sehr viel als Schreibzimmer benützt, besonders auch an den Winterabenden.

Die Bücherschränke sind für alle Angehörige des Instituts zugänglich. Die Bibliothek ist aber reine Präsenzbibliothek: es darf kein Buch und keine Zeitschrift aus der Bibliothek, auch nicht in andere Institutszimmer weggebracht werden. Außer den Büchern und Zeitschriften, die dem Institut gehören, sind in der Bibliothek auch noch solche aufgestellt, die mein Eigentum sind; sie werden auf diese Weise mehr benützt, als wenn sie in meinen Bücherschränken ständen. Außerdem ist es durch das freundliche Entgegenkommen des Direktors der Allgemeinen Biblio-

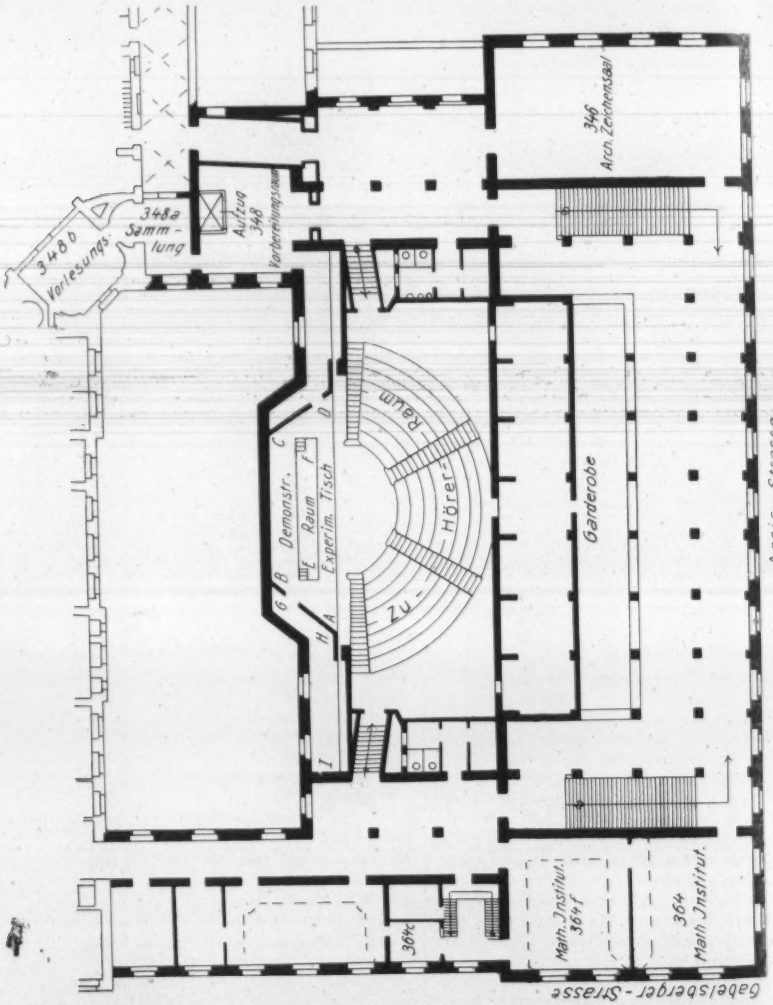



Fig. 10. Großer Physikhörsaal 1. Stock.

thek, Herrn Dr. Riedner, möglich geworden, in der Institutsbibliothek eine Anzahl von Zeitschriften zu haben, die von der Allgemeinen Bibliothek gehalten, aber erfahrungsgemäß fast nur von Angehörigen des Instituts benützt werden.

e) Sammlung (Fig. 7: 150l; vgl. Vorlesungs-Sammlung S. 444f.). In dem Sammlungsraum, der wie alle Räume des Erdgeschosses Linoleumbelag hat, stehen zwei Apparateschränke aus dem alten Institut, außerdem an den fensterlosen Wänden Wandschränke mit Glastüren zur Aufnahme der Apparate. Ebensolche Schränke sind auf der Galerie des Sammlungsraumes und auch auf derjenigen des Bibliotheksraumes, die also sachlich zur Sammlung gehört, angebracht. Auf der

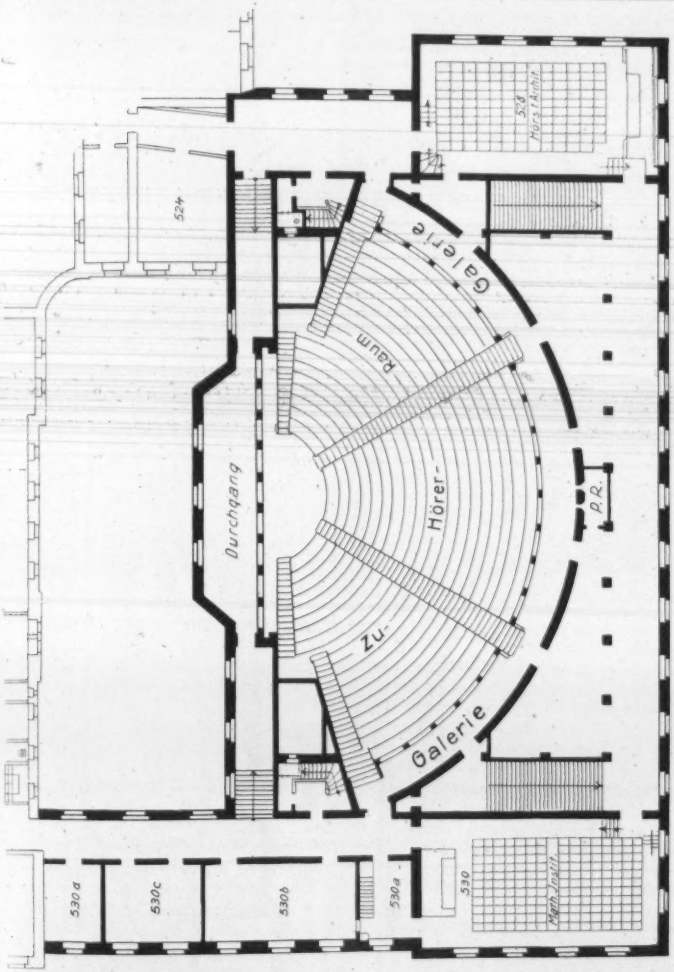



Fig. 11. Großer Physikhörsaal 2. Stock.

ganzen Galerie ist die Eisenbrüstung mit Abstellbrettern versehen, die die Entnahme von Apparaten aus den Schränken und das Zurückstellen in dieselben erleichtern. Da die Fenster des Sammlungsraumes nach Norden zeigen, so bekommen sie kein direktes Sonnenlicht.

III. Großer Physikhörsaal (Fig. 10, 11 u. 12).

a) Aufzug und Vorbereitungszimmer (Fig. 10: 348). Die Verbindung zwischen Keller- und Erdgeschoß des Instituts und dem Vorbereitungszimmer zum großen Physikhörsaal vermittelt ein Aufzug von 1,50×2,50 m² Grundfläche und 1500 kg Tragkraft. Da in allen Räumen des Instituts Türschwellen vermieden sind und der Experimentiertisch des großen Hörsaals auf gleicher Höhe mit dem Boden des Vorbereitungszimmers liegt, so kann aus irgendeinem Institutsraum jeder Apparat mittels eines kleinen Rollwagens auf den Experimentiertisch geholt

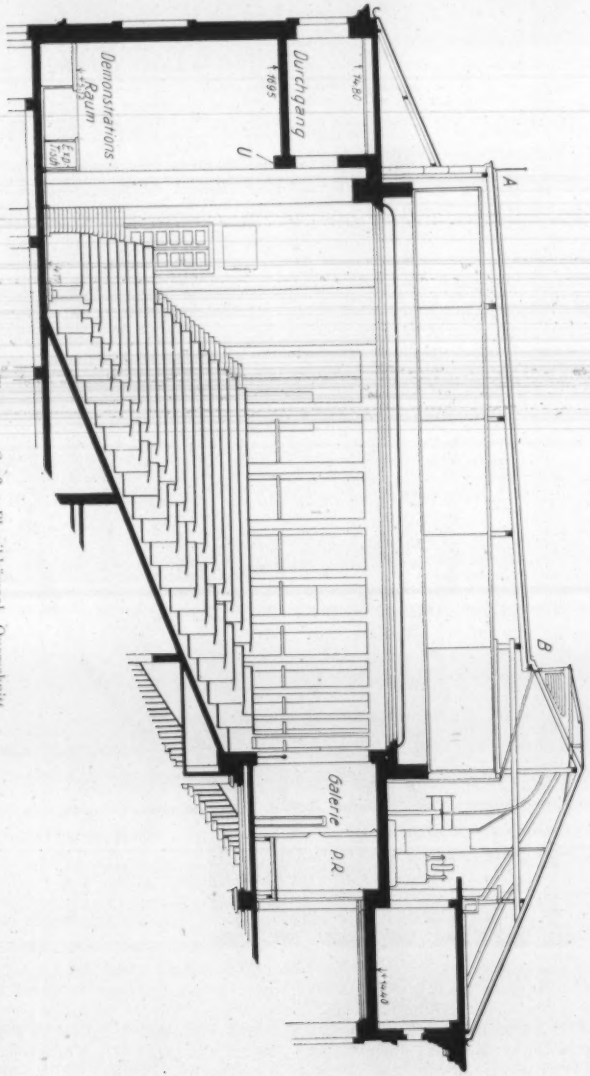



Fig. 12. Großer Physikhörsaal, Querschnitt.

werden, ohne daß irgendwo eine Schwelle überschritten wird. Dasselbe gilt natürlich auch für den Transport von Apparaten von einem Institutsraum in den anderen.

b) Vorlesungssammlung (Fig. 10, 348a und b). Soweit das Vorbereitungszimmer für die Vorlesungsapparate nicht ausreicht, sind dieselben in zwei, an das Vorbereitungszimmer an-

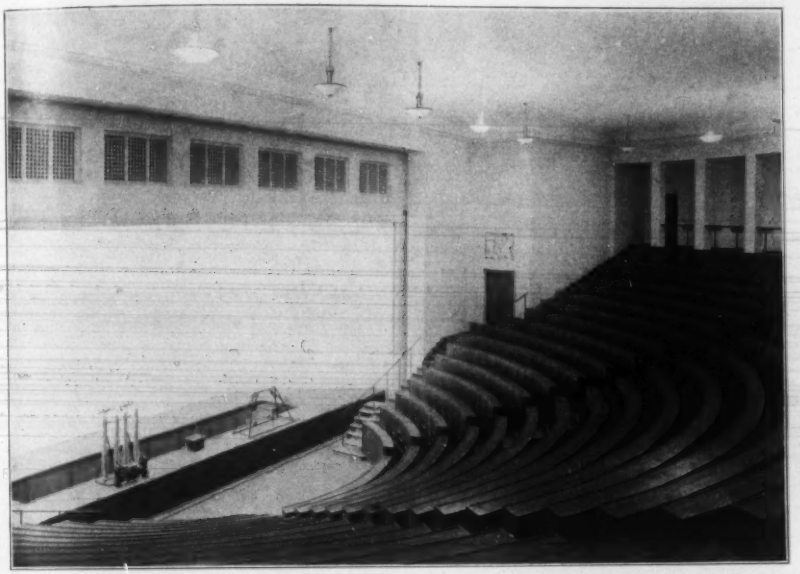


Fig. 13. Großer Physikhörsaal bei offenen Schiebetüren.

stoßenden Sammlungsräumen (348a und b) mit Schränken aus dem alten Institut untergebracht. In diesen Sammlungsräumen und zum Teil auch im Vorbereitungszimmer befinden sich Apparate, die sehr häufig oder ausschließlich in der Vorlesung gebraucht werden, während die Sammlung im Erdgeschoß (Fig. 7: 150l) die Apparate für wissenschaftliche Arbeiten enthält, soweit sie nicht eben im Gebrauch sind.

Die Trennung zwischen wissenschaftlicher und Vorlesungssammlung läßt sich bei der Knappheit an Apparaten nicht vollkommen durchführen. Man kann einen für wissenschaftliche Arbeiten brauchbaren Apparat nicht deshalb ganz dem Gebrauch entziehen, weil er einmal im Jahr in der Vorlesung verwendet wird. Aber es gibt eine Menge von Apparaten und Versuchsanordnungen, die man sich für die Vorlesung reservieren muß, damit sie in Ordnung sind, wenn sie in der Vorlesung gebraucht werden, oder auch solche, die für wissenschaftliche Arbeiten nicht in Frage kommen. Für sie ist die Vorlesungssammlung in erster Linie bestimmt.

c) Allgemeine Anordnung des Hörsaals (Fig. 10 und 11). Der Hörsaal besteht aus zwei Teilen, dem nach Art eines Amphitheaters gebauten Zuhörerraum mit 866 Sitzplätzen und dem Demonstrationsraum, in dem die physikalischen Vorlesungsversuche gemacht werden. Beide Räume können durch zwei, von beiden Seiten herausschiebbare Schiebetüren gegeneinander abgeschlossen werden.

Der Gedanke war der folgende. Für die Vorbereitung der Physikvorlesung des nächsten Tages muß notwendigerweise der ganze Tag zur Verfügung stehen. Meiner Ansicht nach kann kein Experimentalphysiker, der in der Vorlesung Wert auf Demonstrationsversuche legt, sich darauf einlassen, daß ihm die Vorbereitung während einiger Stunden im Tag unmöglich gemacht wird. Auf der anderen Seite schien es unbillig und bei den gegenwärtigen Verhältnissen unverantwortlich, einen so großen Hörsaal nur für eine einzige Vorlesung am Tag zu beanspruchen: da auch für andere Vorlesungen (Mathematik und technische Mechanik) ein ebenso großer Hörsaal nötig ist, wie für die Physikvorlesung (Fig. 13), so hätte man einen zweiten ebenso großen Hörsaal bauen müssen. Die gewählte Anordnung gestattet nun, bei geschlossenen Schiebetüren eine Vorlesung, z. B. in Mathematik vor den Schiebetüren im Zuhörerraum (Fig. 14) zu halten, während gleich-

Fig. 14. Großer Physikhörsaal bei geschlossenen Schiebetüren.

zeitig hinter denselben in dem Demonstrationsraum die nächste Physikvorlesung vorbereitet wird. Für die nichtphysikalischen Vorlesungen und für die sehr häufigen Abendvorträge aller Art, die bei geschlossenen Schiebetüren abgehalten werden, kann vor den Schiebetüren eine Doppeltafel mit darüber befindlicher Projektionsfläche vorgezogen werden. Es steht bei solchen Vorlesungen und Vorträgen also nicht nur eine Tafel, sondern auch für stehende oder kinematographische Projektion eine Projektionsfläche zur Verfügung (Fig. 14).

Diese doppelte Verwendbarkeit des Hörsaals hat bisher nie die geringsten Schwierigkeiten ergeben. Da die Schiebetüren nicht vollkommen schalldicht sind, so wird man im Demonstrationsraum nicht gerade Versuche mit klatschenden Funken oder einem Lautsprecher machen, während im Zuhörerraum der Mathematiker liest.

Zum Hörsaal gehören ferner ein kleiner Raum (*P. R.* Fig. 11 u. 12) hinter der Galerie, der den Projektionsapparat für Diapositive und das Spiegelgalvanometer enthält, außerdem ein im allgemeinen von beiden Seiten abgeschlossener und verdunkelter Gang (vgl. Fig. 12) über dem Demonstrationsraum, der mit diesem durch Bodenlucken, mit dem Zuhörerraum durch große, vergitterte Öffnungen (Fig. 13 und 14) in Verbindung steht. Durch die Bodenlucken dieses Ganges, die über der Mittellinie des Experimentiertisches liegen, können irgendwelche Apparate, z. B. Foucaultsches Pendel, Lautsprecher zur Vorführung des Dopplereffekts oder Spulen zur Demonstration elektrodynamischer Kräfte aufgehängt werden. Eine möglichst vielseitige Verwendung des Ganges wird erleichtert durch einen elektrischen Anschluß, der zu den Schalttafeln des Experimentiertisches (vgl. S. 447) führt. Daß der Gang bei Hochschulfeiern, bei denen der große Physikhörsaal als Festraum dient, die Musikkapelle aufnimmt, erwähne ich nur der Vollständigkeit halber.

d) Demonstrationsraum (Fig. 10 und 12). Seine Grundfläche zerfällt in zwei Teile von verschiedenem Niveau, den Experimentiertisch mit dem Stein-Estrich (*ABCD* Fig. 10), der den Experimentiertisch nach beiden Seiten fortsetzt und um die Rückwand herumläuft — dieser Teil ist auf dem Niveau des Bodens im Vorbereitungszimmer — und den tieferen Teil (*EF* Fig. 10), in dem der Vortragende und sein Gehilfe während der Vorlesung sich aufhält; dieser Teil besitzt das Niveau des Bodens im Zuhörerraum. Die beiden seitlichen Fortsetzungen (Fig. 10: *A*, *D*)

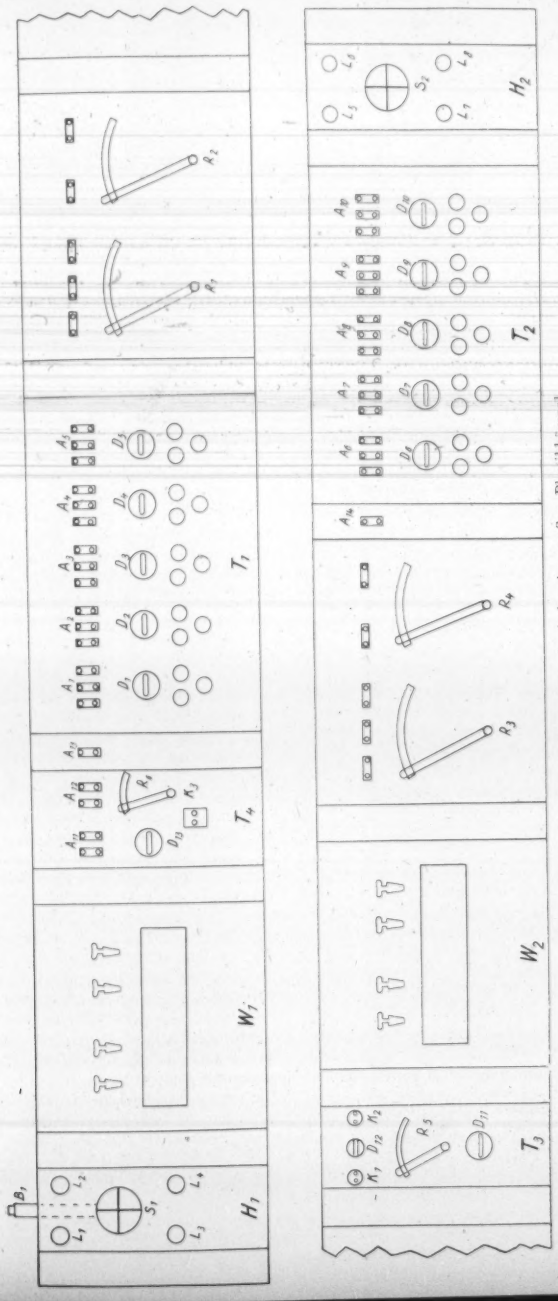



Fig. 15. Rückseite des Experimentiertisches im großen Physikhörsaal.

des Experimentiertisches sind sehr bequem zur Aufstellung von größeren Apparaten, für deren Grundfläche oder Gewicht der Experimentiertisch nicht ausreicht. Der auf demselben Niveau befindliche Teil (Fig. 10: $BC$) längs der Rückwand des Demonstrationsraumes war notwendig, um — unter Vermeidung des Wegs über den Experimentiertisch — Apparate vom Vorbereitungszimmer auf die Fortsetzung $A$ des Experimentiertisches rollen zu können.

Ob man überhaupt einen Experimentiertisch oder die Methode ohne Experimentiertisch wählt, die meines Wissens O. Lehmann, Karlsruhe, in die Demonstrationstechnik eingeführt hat, ist zum großen Teil Sache des Geschmacks und der allgemeinen Anordnung des Hörsaals. Größten Wert habe ich aber im großen, wie im kleinen Physikhörsaal darauf gelegt, daß hinter dem Experimentiertisch nichts angebracht ist, was den Anblick der auf den Tisch aufgebauten Apparate stört (Fig. 13. Vgl. Fig. 16, 19, 20). Ich halte es für unrichtig, wenn man, wie es in vielen Instituten der Fall ist, die Wand hinter dem Experimentiertisch mit Schalttafeln, Meßinstrumenten, Wandbrettern, Abzügen, Skalen und ähnlichem bedeckt.

Der Hörsaaltisch (Fig. 15) enthält an beiden Hälften einen Wasseranschluß ($W_1$ und $W_2$) mit Ablaufbecken aus Ton und je zwei Doppelhähnen, ebenso die üblichen Gasanschlüsse, außerdem zwei Gasanschlüsse von erheblich größerem Querschnitt, um große Gasflammen betreiben zu können.

Die elektrische Ausrüstung des Hörsaaltisches ist, abgesehen von den üblichen Licht-Steckkontakten, aus Fig. 15 ersichtlich; sie stellt in ziemlich maßstäblicher Weise die dem Zuhörerraum abgewandte Seite des Hörsaaltisches dar. Von den beiden parallel geschalteten Schalttafeln $T_1$ und $T_2$ auf beiden Seiten liegen je die beiden äußersten Dreifachanschlüsse $A_1$, $A_5$, $A_6$, $A_{10}$ dauernd an der Zentrale von $2 \times 110$ Volt Gleichspannung. Die drei übrigen Dreifach-Anschlüsse $A_2$, $A_3$, $A_4$ bzw. $A_7$, $A_8$, $A_9$[1]) sind die Endpunkte von unabhängigen Leitungen, die zu der Verteilertafel des Instituts (S. 455) führen. An sie kann irgendeine der im Institut, auch in irgendeinem Arbeitszimmer vorhandenen Niederspannungsquellen, z. B. Akkumulatoren, Nieder-, Mittel- und Hochfrequenzmaschine angeschlossen werden. Die Leitungen werden durch Drehschalter $D_1$—$D_{10}$ an- bzw. abgeschaltet; diese haben vor anderen Schalterarten den hier besonders wichtigen Vorteil, daß sie sehr wenig Raum beanspruchen. Normalerweise können damit 60 Amp. abgeschaltet werden. Ich ziehe es aber bei stärkeren Strömen vor, die Schalter nicht unter Strom auszuschalten, sondern die Leitung durch einen besonderen, auf dem Tisch aufgestellten Ausschalter zu unterbrechen.

Jeder Anschluß ($A_1$—$A_{10}$) hat zwei starke Flügelklemmen zum Einklemmen von Drähten, keine Stecker. Es können infolge davon ebensogut dünne Drähte für Schwachstrom als sehr starke für Starkstrom untergeklemmt werden und es sind niemals Lockerkontakte zu befürchten. Meßinstrumente sind weder an dieser, noch an anderen Schalttafeln des Experimentiertisches vorhanden. Abgesehen von der Raum- und Geldfrage verbot sich ihre Anbringung schon deshalb, weil die Leitungen für alle möglichen Strom- und Spannungsarten und -Stärken benützt werden.

Von den beiden Kurbelwiderständen $R_1$, $R_2$ bzw. $R_3$, $R_4$, die je auf beiden Seiten des Tisches eingebaut sind, ist der eine ($R_1$ bzw. $R_3$) für schwächere, der andere ($R_2$ bzw. $R_4$) für stärkere Ströme bestimmt. Der erstere ist außerdem unmittelbar als Spannungsteiler für maximal 110 Volt eingerichtet.

Die kleine Schalttafel $T_3$ in der Mitte des Experimentiertisches enthält den Drehschalter $D_{11}$ und den Regulierwiderstand $R_5$ für die Tischprojektion, den Schalter $D_{12}$ für die Beleuchtung des Spiegelgalvanometers oben in der Projektionskammer, ferner Steckkontakte $K_1$ und $K_2$ für Licht- und akustische Signale zu der Projektionskammer; der letztere Anschluß ist für ein Telephon gedacht, aber bisher nicht benützt.

An der kleinen Schalttafel $T_4$ ist ein Starkstromstecker $K_3$, Regulierwiderstand $R_6$ und Drehschalter $D_{13}$ für die Bogenlampe zur Projektion von Versuchen (vgl. S. 453). Es sind dort ferner zwei Anschlüsse, $A_{11}$ und $A_{12}$, von denen der eine zu einem Paar Doppelklemmen an der einen schiefen Wand ($CD$ Fig. 10)[1]) des Demonstrationsraumes, der andere zu einem ebensolchen in dem Durchgang über dem Demonstrationsraum (Fig. 12) führt. Verbindet man diese Anschlüsse durch kurze Leitungsschnüre mit der Schalttafel $T_1$ des Experimentiertisches, so können auf diese Weise der linken Fortsetzung des ($CD$ Fig. 10) Experimentiertisches und dem Gang oberhalb des Demonstrationsraumes irgendwelche Stromarten zugeleitet werden. Dadurch werden viele Versuche sehr erleichtert.

An den beiden Enden des Experimentiertisches ($H_1$ und $H_2$) befinden sich die beiden parallel liegenden Vierfach-Anschlüsse für den Hochspannungsgleichstrom. Der im Innern des Experimentiertisches angebrachte Schalter wird

1) $A_2$—$A_7$, $A_3$—$A_8$, $A_4$—$A_9$ sind je parallel geschaltet.

1) An der anderen ($AB$ Fig. 10) ist ein Starkstromanschluß, aber nur für die Zentrale mit 110 Volt Gleichstrom.

durch ein Schaltrad ($S_1$ bzw. $S_2$) bedient. Zwei rote Signallampen ($L_3$, $L_4$ bzw. $L_7$, $L_8$) zeigen an, ob der Schalter vom Hochspannungsraum aus unter Spannung steht. Zwei grüne Lampen ($L_1$, $L_2$ bzw. $L_5$, $L_6$) leuchten auf, wenn der Schalter die Anschlüsse ($B_1 \ldots$, $B_5 \ldots$) für den Experimentiertisch unter Spannung setzt. Fig. 15 zeigt einen solchen Anschluß ($B_1$). Wenn sie nicht gebraucht werden, werden sie (vgl. Fig. 15: $H_2$) herausgenommen und die Durchbohrungen der Tischplatte durch Metalldeckel verschlossen.

Die Anschlüsse $A_{13}$ und $A_{14}$ liegen parallel; von ihnen führt die Leitung zum Spiegelgalvanometer. Die Anschlüsse sowohl wie die Leitung sind besonders gut isoliert.

e) Beleuchtung. Der große Physikhörsaal besitzt keine Fenster, aber eine sehr kräftige Ventilationsanlage (drei Ventilatoren), die ausreicht, um in der Pause zwischen zwei aufeinander folgenden Vorlesungen die Luft im Hörsaal vollkommen zu erneuern. In den großen Physikhörsälen, in denen man auf eine ausgedehnte Verwendung der Projektion angewiesen ist, ist es meist so, daß der Physiker sofort, wenn er den Hörsaal betritt oder sehr bald nachher, alle Fenster verdunkeln läßt. Die einfache Überlegung, die zum fensterlosen Hörsaal führte, war die, daß der Physiker keine Fenster zu verdunkeln braucht, wenn der Architekt keine hineinbaut. Dabei soll dahin gestellt bleiben, ob es überhaupt möglich gewesen wäre, einen so großen Hörsaal mit Außenlicht genügend zu beleuchten. Jedenfalls war bei der gewählten Anordnung der Architekt in der Raumverteilung des Erweiterungsbaues viel freier, als wenn er auf eine genügende Außenbeleuchtung des Hörsaals hätte Rücksicht nehmen müssen. Für Physiker haben die fensterlosen Hörsäle außerdem den Vorteil, daß der Vortragende die Beleuchtung vollkommen in der Hand hat und insbesondere den Hörsaal völlig verdunkeln kann, ohne daß irgendwelche kleine Öffnungen die Dunkeladaption des Auges verhindern.

Die halb indirekte Deckenbeleuchtung besteht aus zwei Gruppen von 200-Watt-Lampen, und zwar einer Gruppe von fünf, einer von zehn. Die Gruppe von fünf Lampen kann durch einen festen Vorwiderstand stark geschwächt werden. Zur Bedienung der Beleuchtung sind sowohl im Demonstrationsraum, als an der Außenwand an der ersten Bankreihe im Zuhörerraum je drei Schalter vorhanden, einer für die Gruppe von zehn, einer für die Gruppe von fünf Lampen ohne Vorschaltwiderstand und einer für den Vorwiderstand zur Schwächung dieser Gruppen. An beiden Stellen sind auch die Schalter für die Galerie und Notbeleuchtung, von denen die letztere an der Akkumulatorenbatterie des Instituts liegt[1]). Für die Physikvorlesung ist die normale Hörsaalbeleuchtung diejenige von fünf Lampen (Fig. 13). Sie ermöglicht bequemes Lesen und Schreiben im Zuhörerraum. Bei den nichtphysikalischen Vorlesungen und bei Vorträgen werden wohl meist die beiden Lampengruppen eingeschaltet (Fig. 14), schon damit das auf der Wandtafel Geschriebene genügend sichtbar ist.

Die Beleuchtungskörper des Demonstrationsraums sind hinter dem Unterzug dieses Raumes (Fig. 12: U) untergebracht und deshalb vom Zuhörerraum aus (vgl. Fig. 13) nicht zu sehen. Zur normalen Beleuchtung dient eine Gruppe von 14 150-Watt-Lampen, deren Lichtstärke durch einen Vorwiderstand in sehr feinen Stufen bis auf Null geschwächt werden kann. Sollen Apparate oder Anordnungen auf dem Experimentiertisch direkt gezeigt werden, so wird eine nach unten gerichtete Beleuchtung von sechs 750-Watt-Lampen eingeschaltet (Fig. 13). Diese sehr helle Beleuchtung hat aus den bekannten physiologischen Gründen zur Folge, daß man selbst verhältnismäßig kleine Gegenstände[2]) auffallend gut sieht.

f) Projektion. Bei allen Arten der Projektion werden die Bilder auf die weiß getünchte Rückwand (Fig. 10: $B$—$C$) des Demonstrationsraumes entworfen, die von allen Sitzen im Zuhörerraum sehr gut zu sehen ist. Bekanntlich liefert eine weiß getünchte Wand im allgemeinen eine ausgezeichnete diffuse Reflexion; sie besitzt im vorliegenden Fall außerdem noch den Vorteil, daß der „Projektionsschirm" immer gebrauchsbereit steht, so daß nicht irgendwelche Projektionsschirme aufgestellt oder heruntergelassen werden müssen. Bei manchen, ungünstig gebauten Hörsälen sind abrollbare Projektionsschirme an den Seiten des Hörsaals nicht zu umgehen. Wenn dann aber auch noch als Material für die Schirme Leinwand oder Baumwolle verwendet wird, die wohl 50 Proz. durchläßt, so kann man wohl sagen, daß alle Bedingungen für eine schlecht sichtbare Projektion erfüllt sind.

Alle Projektionsapparate sind so lichtstark gewählt, daß der Hörsaal während der Projektion zum Lesen und Schreiben ausreichend beleuchtet werden kann (Gruppen von fünf Lampen s. o. u. Fig. 13). Nur in Ausnahmefällen, z. B. bei Autochrombildern, ist eine Abschwächung der Saalbeleuchtung (Vorwiderstand für die fünf Lampen s. o. oder völlige Verdunklung nötig; sonst wird immer im beleuchteten Hörsaal projiziert.

1) An der vorderen Wand der ersten Bankreihe im Zuhörerraum ist auch ein Stecker für die Lichtsignalleitung nach dem Projektionsraum.

2) Die Leidener Flaschen in Fig. 13 haben aber eine Höhe von 1,80 m.

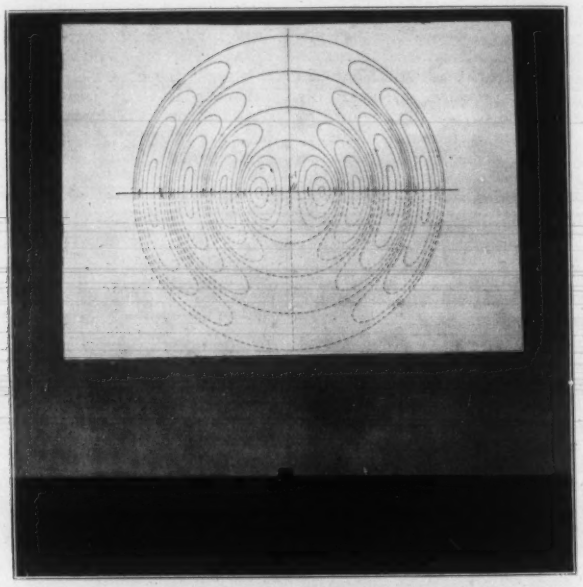


Fig. 16. Diapositivprojektion.

Der Projektionsapparat für Diapositive ist ein Leitzapparat mit dreifachem Kondensor und selbstregulierender Weulelampe für 25, auf kurze Zeit auch für 35 Amp. und einem gewöhnlichen achromatischen Linsenpaar von 60 cm Brennweite als Objektiv. Da Diapositive von höchstens $9 \times 12$ cm² projiziert werden sollen, so würde ein teures, gut korrigiertes Objektiv keinen Sinn gehabt haben. Die Abbildung durch die Linsen ist so gut, daß man bei der Projektion von Autochromplatten die einzelnen Körner des Farbfilters auf dem Schirm aus nächster Nähe scharf abgebildet sieht. Die Größe von $9 \times 12$ Bildern auf der Wand ist $3{,}80 \times 5{,}10$ m² (Fig. 16).

Mit demselben Projektionsapparat wird auch die Skala für das Spiegelgalvanometer projiziert (Fig. 17). Sobald vom Vortragenden die Lampe des Spiegelgalvanometers von unten eingeschaltet wird (Fig. 15 Schalter $D_{12}$), ist dies für den Lehrling, der den Projektionsapparat bedient, das Zeichen zur Projektion der Skala. Bei der ganzen Anordnung des Hörsaals wäre eine feste Skala nur auf der Rückwand des Demonstrationsraumes (Fig. 10: *B*—*C*) anzubringen gewesen. Sie würde die vielseitige Verwendung dieser Wand erheblich beeinträchtigt haben. Außerdem besitzt das Projizieren der Skala den Vorteil, daß man verschiedene Skalen (Nullpunkt in der Mitte der Skala oder auf einer Seite derselben) benützen und daß man den Lichtzeiger des Galvanometers durch Verschieben der Skala leicht auf Null stellen kann.

Die Anbringung einer Wandtafel auf der Rückwand des Demonstrationsraumes würde zu noch größeren Schwierigkeiten geführt haben, als diejenige einer Skala. Ich habe deshalb einer Anregung unseres Kollegen, Herrn von Dyck, folgend, auch die sonst übliche Wandtafel durch eine Projektion ersetzt. Sie ist genau so eingerichtet, wie die üblichen Apparate für die Projektion horizontaler Gegenstände (Fig. 18) und wurde von der Firma Carl Zeiss in Jena in ausgezeichneter Weise angefertigt. Die Lampe, die wegen der Unterbringung im Experimentiertisch selbstregulierend sein muß, ist eine Weulelampe für 25 Amp., das Projektionsobjektiv ein Zeiss-Projektions-Tessar von 21 cm Brennweite und dem Öffnungsverhältnis $f : 4{,}5$; der Spiegel $S_2$ oberhalb desselben ist auf der Vorderseite versilbert, der Spiegel $S_1$ auf der Rückseite.

Daß die Wärmewirkung der Bogenlampe im Experimentiertisch unschädlich gemacht werden

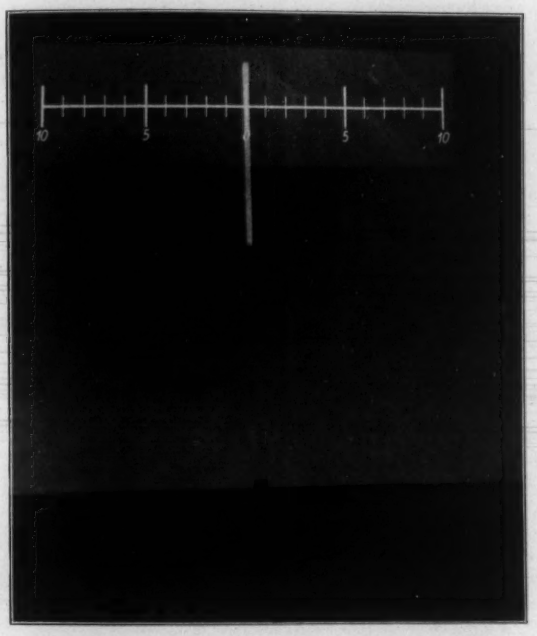



Fig. 17. Skalenprojektion.

muß, war von vornherein klar. Es wurde deshalb über der Bogenlampe ein System von Metallröhren angebracht, durch das man während der Vorlesung etwas Wasser durchströmen läßt. Nicht erwartet wurde, daß die nitrosen Gase Schwierigkeiten machen würden. Sie werden natürlich bei jeder Bogenlampe entwickelt, aber bei der gewöhnlichen Aufstellung im Zimmer diffundieren sie und werden dadurch bis zur Unschädlichkeit verdünnt. Bei der Schreibprojektion ist die Diffusion beschränkt; die nitrosen Gase gelangten infolge davon durch Undichtigkeiten des Tisches oder der Tischtüre in solcher Konzentration zu dem Vortragenden, daß auf die Dauer eine Schädigung der Gesundheit zu befürchten war. Schließlich wurde dadurch wirksam abgeholfen, daß aus dem Tischteil, in dem sich die Lampe befindet, ein Rohr von 10 cm Durchmesser in den schmalen Gang (Fig. 10: *H—J*) hinter dem Demonstrationsraum geführt und vor der Mündung des Rohres ein kleiner Ventilator aufgestellt wurde, der durch einen Schalter am Experimentiertisch eingeschaltet werden kann.

Geschrieben wird auf Glasplatten, die auf dem kleinen Pult (Fig. 18) horizontal liegen, und zwar mit schwarzer oder farbiger Tinte. Von der beim gewöhnlichen Gebrauch blau aus der Feder fließenden schwarzen Tinte wird ein Vorrat längere Zeit dem Licht ausgesetzt, um sofort möglichst schwarz zu fließen, und durch Durchleiten von Luft etwas eingedickt. In die Glasplatten ist ein Koordinatensystem eingeätzt, es muß — eine einfache Aufgabe der projektiven Geometrie — so gezeichnet sein, daß es bei der Projektion auf der Wand rechtwinkelig erscheint (Fig. 19). Die Glasplatten werden vorbereitet, indem man sie in eine 0,5 proz. Gelatinelösung taucht und nach dem Gebrauch im heißen Wasser abwäscht. Statt dessen kann man auch die unpräparierten Glasplatten genau so behandeln, wie man es bei Pausleinen oder Pauspapier macht, um das Zeichnen darauf zu erleichtern. Das Material dazu ist in den Papierhandlungen z. B. unter dem Namen Piccolo Präparator erhältlich.

Voraussetzung für eine solche Schreibprojektion ist natürlich ein genügender Abstand zwischen Projektionsapparat und Wand. Er beträgt im Hörsaal etwa 4 m.

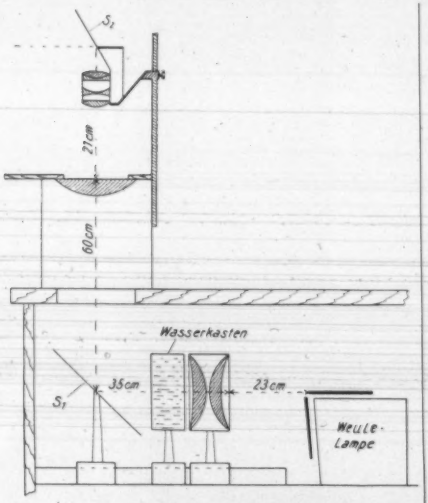



Fig. 18. Schnitt durch die Tischprojektion.

Ich habe mit der Schreibprojektion die besten Erfahrungen gemacht. Das Schreiben und besonders Zeichnen auf der Glasplatte ist zwar entschieden weniger angenehm, als auf einer Tafel. Aber man gewöhnt sich daran sehr rasch. Sehr günstig zumal in dem großen Hörsaal ist, daß man während des Schreibens immer in der Richtung der Zuhörer spricht. Ein Vorteil ist ferner, daß man eine praktisch unbegrenzte Schreibfläche zur Verfügung hat, indem man eben die Glasplatte so oft wechselt, als es nötig ist, ebenso daß man irgend etwas aus einer früheren Vorlesung stets wieder vorlegen kann, wenn man die betreffende Platte aufbewahrt.

Außer seinem eigentlichen Zweck dient der Tischapparat auch dazu, um auf eine beliebige Stelle an der Rückwand des Demonstrationsraumes horizontale oder vertikale Skalen zu projizieren, wenn die Bewegung irgendeines Lichtzeigers oder eines Gegenstandes im Schattenriß gezeigt werden soll. Er ist auch sehr bequem für alle diejenigen Versuche, für die man sonst Horizontalprojektion verwendet, z. B. zur Projektion von magnetischen Kraftlinien, von hydro-dynamischen Strömungsbildern usw. Sehr gut eignet er sich auch, wenn das Objektiv abgenommen ist,

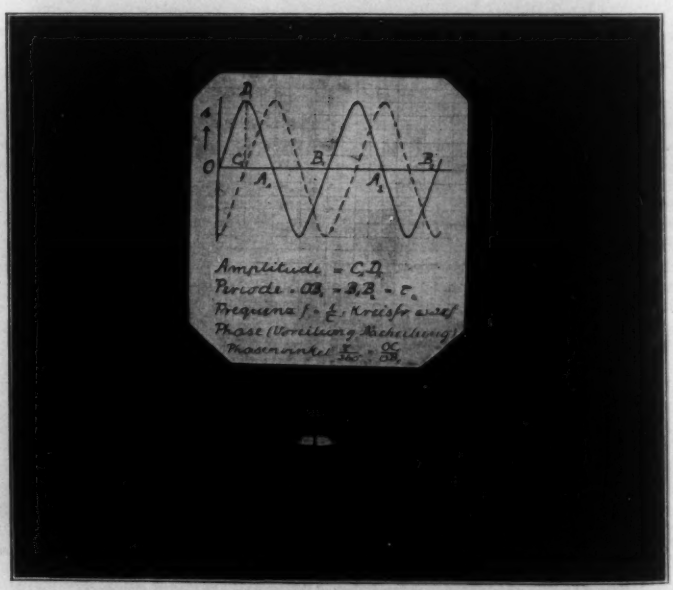



Fig. 19. Ersatz der Tafel durch die Tischprojektion.

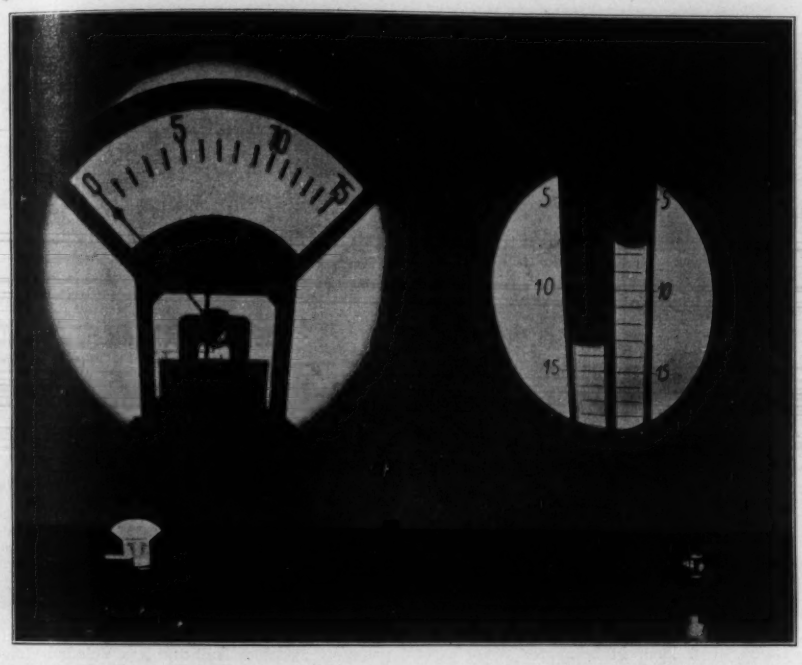



Fig. 20. Rechts: Projektion eines Manometers. Links: Schattenriß eines Drehspulinstruments.

bei völlig verdunkeltem Hörsaal zur Darstellung des Tyndall-Kegels bei Nebelbildung in einem großen Glaskolben oder der Fluoreszenz in Dämpfen oder Flüssigkeiten. Nimmt man auch noch die obere Kondensorlinse ab und setzt einen z. B. unter 45° geneigten Spiegel auf, so erhält man ein für optische Versuche bequemes, horizontales Strahlenbündel. Bei all diesen Verwendungsarten ist von großem Vorteil, daß aus dem lichtdichten Tisch durchaus kein störendes Nebenlicht herauskommt.

Für die Projektion von vertikalen Apparaten und Versuchsanordnungen wird eine Bogenlampe benützt, die unmittelbar an die kleine Schalttafel $T_4$ (Fig. 15, Stecker $K_3$) des Experimentiertisches angeschlossen werden kann. Ihr Kondensor zeigt dabei gegen die Zuhörer. Vor demselben sind die Apparate, die projiziert werden sollen, z. B. Flüssigkeitsmanometer (vgl. Fig. 20 rechts) oder Elektrometer aufgestellt und davor das Projektionsobjektiv. Wenn die Anordnung erklärt ist, wird vor die Projektionslinse und möglichst weit weg von ihr ein Spiegel von regelbarer Neigung und Höhe gestellt, der das Bild auf die Rückwand des Demonstrationsraumes bringt (vgl. Fig. 20 rechts). Auch die episkopische Projektion von Gegenständen, z. B. eines Zungenfrequenzmessers oder die Projektion der Farben dünner Plättchen im reflektierten Licht, ist in ähnlicher Weise möglich; der Spiegel fällt natürlich in diesem Fall weg.

Da die Apparate meist nicht so groß gebaut werden können, um in einem so großen Hörsaal direkt gezeigt zu werden, so muß ausgedehnter Gebrauch von der Schattenprojektion und zwar ebenfalls auf die Rückwand des Demonstrationsraumes gemacht werden. Als Beispiel gibt die linke Seite von Fig. 20 den Schattenriß eines Drehspulstrommessers, dessen Papierskala durch eine solche aus Glas ersetzt wurde.

## IV. Dach.

Auf dem flachen Teil des Daches (Fig. 12: $A$—$B$) sind zwei kleine Masten von etwa 4 m Höhe aufgestellt, die die Anbringung einer kleinen Antennenkapazität gestatten. Bisher wurde

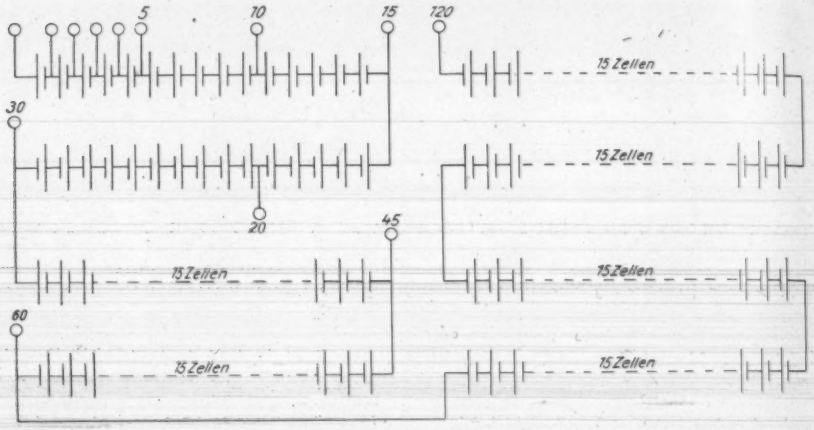



Fig. 21. Schaltungsschema der Akkumulatorenbatterie.

das Dach hauptsächlich für akustische Versuche, insbesondere die Prüfung von Apparaten für raumakustische Arbeiten benützt. Dafür bietet das Dach den großen Vorteil, daß es frei ist von irgendwelchen störenden Reflexionen, wie sie auch in Zimmern mit starker Wanddämpfung stets vorhanden sind. Die Reflexion am Boden (Dach) selbst kann in bekannter Weise leicht umgangen werden.

Für die akustischen Versuche, bei denen es sich empfiehlt, die größten Teile der Hilfsapparate im Kellergeschoß aufzustellen, wurde das Dach mit dem großen Zimmer (Fig. 1: 4) im Kellergeschoß durch acht wetterfeste Leitungen verbunden, die oben auf dem Dach und unten im Zimmer in eine ganz einfache Schalttafel endigen.

## V. Die elektrische Anlage.

A. Die Niederspannungsquellen. 1. Die Gleichstromzentrale der Technischen Hochschule.

Wo es irgend möglich ist, wird auch bei den Demonstrationsversuchen in der Vorlesung die Gleichstromzentrale von $2 \times 110$ Volt verwendet. Für Messungen ist sie nur ungefähr von 10 Uhr nachts bis früh morgens brauchbar, da bei Tag die Spannung zu sehr schwankt.

2. Die Akkumulatorenbatterie (Fig. 1; 16a). Sie besteht aus 120 Zellen Type *C* 10 der Varta Akkumulatorenfabrik für 363 Amp. Stunden und einem maximalen Entladestrom von 90 Amp. Die Zellen sind in Gruppen nach dem Schema Fig. 21 angeordnet; zwischen je zwei Gruppen führt eine Verbindungsleitung zur Verteilertafel (vgl. S. 455 f.).

3. Das Gleichstrom-Ladeaggregat der Siemens-Schuckert-Werke (Fig. 1: 8 bei *C*). Es ist in feinen Stufen regelbar zwischen Null und $\pm$ 110 Volt. Der Generator kann allein oder in Serie oder gegen die Akkumulatorenbatterie auf die Verteilertafel des Instituts geschaltet werden, so daß eine in sehr feinen Stufen regelbare Gleichspannung zwischen Null und 330 Volt bei etwa 90 Amp. zur Verfügung steht.

4. Gleichstrommotor-Drehstromgenerator für normal 50 Perioden von Brown, Boveri & Co. (Fig. 1: Maschinenraum 8 bei *E* und Fig. 2 in der Mitte). Spannung in feinen Stufen regulierbar zwischen 20 und 260 Volt, maximaler Strom 92 Amp.

5. Gleichstrommotor-Mittelfrequenzgenerator (Fig. 1: Maschinenraum 8 bei *D*) für normal 500 Perioden in vertikaler Anordnung (A. E. G.). Der Generator besitzt zwei Gruppen von Ankerspulen, maximale Spannung jeder Gruppe 220 Volt, maximaler Strom 22,7 Amp. Die Frequenz ist kontinuierlich regelbar zwischen 250 und 600/Sek.

6. Gleichstrommotor-Hochfrequenzgenerator (Fig. 1: Maschinenraum 8 bei *F*), Motor der Siemens-Schuckert-Werke, Generator der Firma C. Lorenz A.-G., Berlin-Tempelhof (Fig. 2 rechts). Die Maschine besitzt Schmidt'sche automatische Tourenregulierung. Die Erregung des Motors liegt dauernd an 220 Volt Akkumulatorenbatterie oder Gleichstromzentrale. Der Motoranker kann an 110 oder 220 Volt Gleichstromzentrale oder auch an irgendeine Spannung der Akkumulatorenbatterie angelegt werden. Infolge davon kann

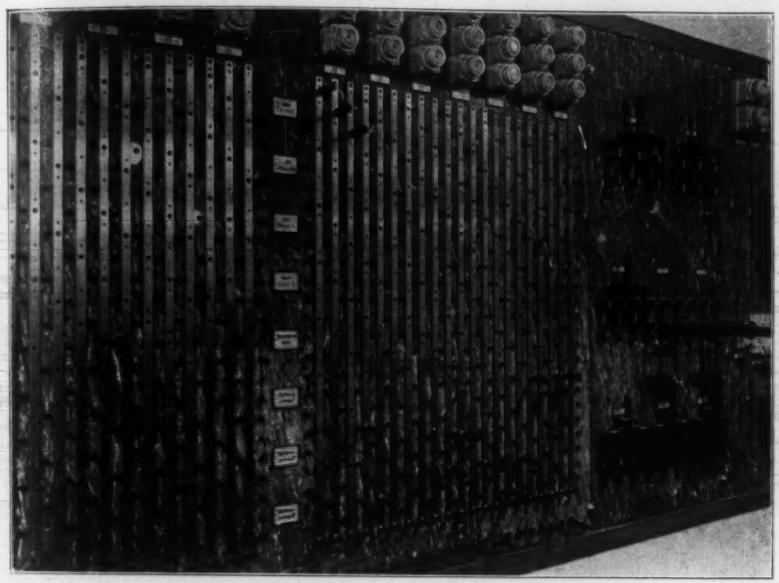


Fig. 22. Ein Teil der Niederspannungs-Verteilertafel.

die Frequenz der Maschine auf die verschiedensten Frequenzstufen eingestellt und innerhalb jeder Stufe fein reguliert werden, wenn man die automatische Tourenregulierung ausschaltet. Bei einer Drehzahl von 3000/Min. ist die Frequenz der Maschine 8000/Sek., die maximale effektive Spannung 390 Volt, der zulässige Strom 25,6 Amp.

B. Die Verteilertafel (Linienwähler) für Niederspannung. Die große Niederspannungs-Verteilertafel (Fig. 22 und Fig. 1 Maschinenraum 8 bei *A—B*), die in ausgezeichneter Weise von der Firma Siemens & Halske ausgeführt wurde, hat horizontale Schienen für die oben angeführten Stromquellen, vertikale für die Leitungen des Institutsnetzes. Die Verbindung zwischen den horizontalen und vertikalen Schienen wird durch federnde Stöpsel hergestellt. Von der Akkumulatorenbatterie sind einzelne Gruppen (vgl. Fig. 21) zu einem besonderen Teil der Verteilertafel geführt, mit der neun horizontale Schienen durch Stöpsel verbunden werden können. Die Verteilertafel würde zu hoch geworden sein, wenn man ebenso viele horizontale Schienen als Akkumulatorengruppen hätte vorsehen wollen.

Besonderer Wert wurde darauf gelegt, daß die vertikalen Schienen des Institutsnetzes je mit einer Anschlußklemme (in Fig. 22 unten an jeder Vertikalschiene) ausgerüstet wurden. Ich hatte solche schon bei der Verteilertafel des alten Instituts anbringen lassen und sie waren dort sehr viel benützt worden. Der Zweck ist einmal der, die Schalttafeln der einzelnen Zimmer miteinander zu verbinden, so daß man also in einem Zimmer oder auch im Hörsaal den Strom irgendeiner fahrbaren Maschine, die irgendwo im Institut steht, erhalten kann.

Diese Klemmen haben auch noch eine andere Verwendung. Die Erregungen aller Generatoren und ebenso ihrer Motoren sind mit den Klemmen eines ganz kleinen Schaltbretts an der Wand (Fig. 1: Maschinenraum 8 bei *G*) verbunden. Schließt man diese Klemmen durch Leitungsschnüre an die Klemmen der Vertikalschienen an der Verteilertafel an, so kann von jedem Zimmer oder vom Hörsaal aus die Drehzahl und Spannung irgendeines Motorgenerators geregelt werden.

Möglich ist ferner, durch eine Umschaltung die Motoren aller Motor-Generatoren statt an die Gleichstromzentrale an die Akkumulatorenbatterie zu legen, wenn die Messungen eine größere Konstanz erfordern. Diese Schaltungen (Rege-

Fig. 23. Hochspannungs-Gleichstrommaschinen.

lung der Maschinen von den Zimmern aus, Anschluß der Motoren an die Akkumulatorenbatterie) sind nicht so unmittelbar — aber immerhin in wenigen Minuten — zu machen, wie etwa die Schaltung irgendeiner Maschine auf ein Zimmer. Würde man die Verteilertafel so eingerichtet haben, daß solche Umschaltungen unmittelbar durch Stöpsel an derselben bewerkstelligt werden können, so würde sie sehr teuer und kompliziert geworden sein. Ich wollte, daß die Verteilertafel für den normalen Zweck so einfach und übersichtlich als möglich — „foolproof" — sein sollte und wollte lieber in Kauf nehmen, daß dadurch ein abnormaler Gebrauch etwas weniger einfach wird.

C. Leitungen und Schalttafeln für Niederspannung. Die Leitungen von der Verteilertafel zu den Arbeitszimmern und Hörsälen sind im allgemeinen Freileitungen, je drei Leitungen auf einem gemeinsamen Isolator (vgl. Fig. 4). Sie sind für 100 Amp. berechnet.

Zu den Schalttafeln in den Arbeitszimmern (Fig. 4), an denen weder Sicherungen noch Meßinstrumente angebracht sind, führen je drei Dreifachleitungen, im ganzen also neun Leitungen; von diesen gehört eine Dreifachleitung dem betreffenden Arbeitszimmer allein, eine zweite Dreifachleitung ist einer kleinen Zahl von Zimmern gemeinsam, z. B. den Zimmern 1, 2, 3 (Fig. 1). Sie ist zum Anschluß von Drehstrom gedacht; es kann aber jede auf der Verteilertafel des Instituts vorhandene Stromart angeschlossen werden. An der dritten Dreifachleitung liegt eine größere Reihe von Zimmern. Sie ist normalerweise an die Gleichstromzentrale angeschlossen, kann aber auf der Verteilertafel auch an irgendeine andere Stromquelle gelegt werden.

An der Verteilertafel des Instituts können dadurch, daß an irgendeiner Dreifachleitung zum Teil mehrere Zimmer liegen, unmöglich Schwierigkeiten entstehen. Jede Dreifachleitung, gleichgültig, ob an ihr nur ein oder mehrere Zimmer liegen, hat nur eine Nummer an der Verteilertafel und drei Anschlußstöpsel (vgl. Fig. 22). Ist also eine solche Leitung schon an irgendeine Stromquelle angeschlossen, so fehlen einfach die nötigen Stöpsel, um eine zweite Stromquelle auf dieselbe Leitung zu legen.

D. Gleichstrom-Hochspannungsanlage (Fig. 1: 7). 1. Stromquellen. Für Gleichstrom über 500 Volt stehen im Hochspannungsraum: 1. ein Gleichstrom (220 Volt-)Motor —

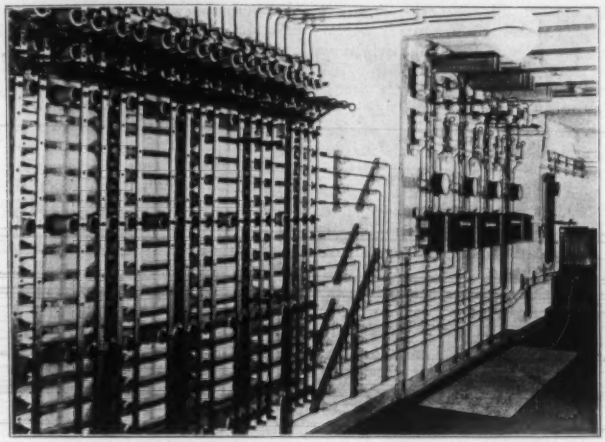


Fig. 24. Hochspannungs-Verteilertafel.

Gleichstromgenerator für maximal 750 Volt, 20 Amp. (A. E. G.) (stehende Anordnung im Hintergrund von Fig. 23); 2. ein Gleichstrommotor (220 Volt) für 23,5 kW, damit direkt gekoppelt und auf gemeinsamer Grundplatte vier Generatoren für je normal 600 Volt, 10 Amp. (Fig. 23 rechts). Die vier Generatoren haben Eigenerregung, so daß also innerhalb jeder Maschine nicht mehr als die normale Spannung auftreten kann; sie müssen aber infolge der Eigenerregung voneinander und von der Grundplatte isoliert sein. Parallel zu jedem Generator liegt ein kleines Drehspulvoltmeter (Fig. 24 rechts) und als Schutz gegen Überspannungen je drei in Reihe geschaltete Glühlampen (Fig. 24). Von jedem Generator sind zwei Leitungen nach der Hochspannungsverteilertafel geführt. Dort können sie einzeln oder mehrere in Reihe auf das Hochspannungsnetz des Instituts geschaltet werden. Zwischen jedem Generator und der Verteilertafel kann ein Silit-Widerstand eingeschaltet werden, der den Strom bei normaler Erregung der Maschine auf etwa 0,1 Amp. begrenzt. Er wird durch einen Schalter kurz geschlossen, wenn stärkerer Strom entnommen werden soll. Der Gedanke war, in den Fällen, in denen nur ganz geringer Strom nötig ist z. B. bei Gasentladungen, die Gefahr der Hochspannung wenigstens durch Strombegrenzung zu mildern. — Auch der Motor der Hochspannungsmaschine kann statt durch Zentralen-Strom durch Akkumulatoren betrieben werden.

2. Die Verteilertafel im Hochspannungsraum Fig. 24), die von Herrn Hauptkonservator Kelber projektiert und von den Elektrikern der Hochschule ausgeführt wurde, ist in der Anordnung ebenso wie die Niederspannungs-Verteilertafel; die Ausführung ist aber mit Rücksicht auf die viel höheren Spannungen natürlich verschieden.

Die Verteilertafel besitzt sechs horizontale Schienenpaare, vier davon gehören zu den vier Generatoren des großen Hochspannungsaggregats, die fünfte zu der 750-Volt-Maschine, die sechste ist noch frei. Die 20 Vertikalschienen führen zu den zwei Hörsälen und den Arbeitszimmern, und zwar liegen diese letzteren an drei Vierfachleitungen. Ohne Hochspannungsanschlüsse sind nur die Arbeitszimmer Nr. 13 und 14 (Fig. 1) und diejenigen an der Arcisstraße (Fig. 1: 15—17).

Die Hochspannungsanschlüsse (Fig. 5) in den Zimmern sind über Reichhöhe angebracht und nur durch eine Schaltstange mit geerdetem Handgriff zu bedienen. Rote Signallampen zeigen an, wenn auf der Hochspannungs-Verteilertafel die betreffende Leitung an eine Hochfrequenzmaschine angeschlossen wird.

Das Material für die Hochspannungsleitungen ist Spezialgummiader-Leitung. Sie sind etwa für 6000 Volt isoliert. Diese Isolierung der Leitungen selbst gestattet ihre Verlegung in genau derselben Weise, wie diejenige von Niederspannungsleitungen.

---

Wir haben uns manchmal die Frage vorgelegt, was wir heute, nachdem wir die Erfahrung mit dem Institut haben, ändern würden, wenn es noch einmal gebaut werden müßte. Abgesehen

von Kleinigkeiten, über die man außerdem noch sehr verschiedener Meinung sein kann, ist bei solchen Besprechungen der Institutsangehörigen nie ein wirklicher Mißstand herausgekommen. Insbesondere hat sich die Anordnung des großen Physikhörsaals sehr gut bewährt. Sie stellt jedenfalls eine brauchbare Lösung der schwierigen Aufgabe eines physikalischen Hörsaals für 800 bis 900 Zuhörer mit der oben erwähnten erschwerenden Nebenbedingung dar. Vielleicht gibt es gar nicht so sehr viele brauchbare Lösungen dieser Aufgabe. Denn wenn einmal eine Zuhörerzahl von ungefähr 400 überschritten ist, wachsen die Schwierigkeiten mit zunehmender Zuhörerzahl außerordentlich stark an.

Zum Schluß möchte ich allen denen danken, die sich um das Zustandekommen des Instituts verdient gemacht haben: Dem Bayerischen Landtag, dem Bayerischen Staatsministerium für Unterricht und Kultus, dem Rektor der Technischen Hochschule während der kritischen Zeit, Herrn W. von Dyck, dem Erbauer Herrn G. Bestelmeyer, ebenso den Herren Bauamtmann Loibl und Architekten Bäßler. Besonderen Dank schulde ich auch Herrn Architekt Fischer vom Baubüro für die Erweiterungsbauten der Technischen Hochschule und Herrn Hauptkonservator Kelber, die sich mit großer Hingabe und größtem Geschick der erstere der Einrichtung des Instituts, der letztere der elektrischen Anlage angenommen haben.

Es drängt mich ferner, denen meinen Dank auszusprechen, die zur Ausrüstung des Instituts mit Maschinen und Apparaten beigetragen haben, sei es durch Bewilligung von Mitteln oder durch Stiftung von Apparaten oder durch Nachlaß an den normalen Preisen oder auch durch Zuwendung von Mitteln oder Apparaten für spezielle Forschungsarbeiten, durch die erst ein wissenschaftliches Arbeiten im Institut ermöglicht wurde: in erster Linie dem Bund der Freunde der Technischen Hochschule, der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft und der Helmholtz-Gesellschaft, der Bayerischen Elektrizitäts-Gesellschaft in Landshut, der I. G. Farbenindustrie A.-G. in Ludwigshafen, der Gesellschaft für Lindes Eismaschinen in Höllriegelskreuth bei München, C. Lorenz A.-G. in Berlin-Tempelhof, Siemens & Halske A.-G. in Berlin-Siemensstadt, den Siemens-Schuckert-Werken A.-G. in Nürnberg, der Firma Dr. Alexander Wacker, Gesellschaft für elektrochemische Industrie in München und Carl Zeiss in Jena.

München, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule, März 1929[1]).

1) Herr Prof. Dr. von Angerer danke ich bestens für die Anfertigung der photographischen Aufnahmen in dieser Beschreibung.

## Energiegleichung zur Berechnung des Widerstandes und der Fallgeschwindigkeit von Steinen im Wasser.

Von Felix M. Exner.

Gelegentlich einer Anfrage des Wasserbau-Professors Nishi aus Japan, der die Stoßkraft von Steinen kennen wollte, die über eine Wehr ins Flußbett hinabfallen, habe ich im Anschluß an eine frühere Arbeit[1]) die Beschleunigungsgröße der Fallgeschwindigkeit eines festen Körpers in Flüssigkeit berechnet, und zwar auf Grund einer einfachen theoretischen Energiegleichung ohne Berücksichtigung der sonst meist benutzten, empirischen Reibungskoeffizienten. Die so berechneten Werte der Fallgeschwindigkeit und des Widerstandes der Flüssigkeit gegen den bewegten Körper sind der Größenordnung nach ziemlich richtig. Die theoretische Berechnung ist sehr einfach, aber mit der alten und immer wiederkehrenden hydrodynamischen Theorie nicht vereinbar, die besagt, daß eine Kugel, die sich reibungslos in einer Flüssigkeit bewegt, keinen Widerstand erhält. Man hat meist vorausgesetzt, daß der tatsächliche Widerstand der regelmäßig auftritt, eine Reibungswirkung ist. Ich habe aber den Eindruck, daß die hier benutzte Energiegleichung gegen jene Theorie spricht.

Ein fester Körper in symmetrischer Gestalt (z. B. Kugel oder Zylinder) mit einem spezifischen Gewicht $\sigma$, das größer ist als jenes der Flüssigkeit, $\varrho$, möge in dieser Flüssigkeit fallen. Sei $V$ das Volumen des Körpers, $v$ seine Fallgeschwindigkeit zu einer gewissen Zeit, so ist seine lebendige Kraft gegeben durch $\frac{\sigma V v^2}{2}$. Nun soll der Körper um ein Stückchen $h$ herabsinken, wobei $h$ als vertikale Dimension des Körpers angesetzt wird (bei einer Kugel vom Radius $r$ ist z. B. $h = 2r$; bei einem Zylinder ist $h$ dessen Höhe). Bei diesem Herabsinken wird die potentielle Energie der Lage verkleinert, und zwar im Betrage von $V(\sigma - \varrho)\, g h$. Zugleich muß bei dem Sinken des Körpers um die Höhe $h$ eine Flüssigkeitsmasse vom gleichen Volumen $V$ von der Lage unterhalb des Körpers nach oben geschafft werden. Hierfür ist eine lebendige Kraft nötig, die einen Teil der lebendigen Kraft des Körpers verbraucht. Bei der Fallgröße $h$ hat sie den Wert $V\varrho \frac{v_w^2}{2}$, wobei $v_w$ die mittlere Geschwindigkeit des Aufströmens der Flüssigkeit beim Abfallen des Körpers bedeutet.

1) Über die Aufstiegsgeschwindigkeit von Luftblasen im Wasser; Physik. Zeitschr., 28. Jahrg. 1927, S. 825.

Um nun die lebendige Kraft des Körpers nach dem Abfall $h$ festzustellen, braucht man nur die anfängliche lebendige Kraft um die Abnahme der potentiellen Energie zu vergrößern und hiervon die lebendige Kraft der Flüssigkeit abzuziehen; ist $v'$ die Fallgeschwindigkeit des Körpers nach dem Abfall $h$, so ergibt sich:

$$\frac{\sigma v'^2}{2} = \frac{\sigma v^2}{2} + (\sigma - \varrho) g h - \frac{\varrho v_w^2}{2}.$$

Die Größe $v'$ ist $v + \frac{dv}{dz} h$; somit wird

$$\sigma h v \frac{dv}{dz} = (\sigma - \varrho) g h - \frac{\varrho v_w^2}{2}.$$ [1])

Unter $v_w$ ist im allgemeinen eine größere Aufströmungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit anzunehmen als die Fallgeschwindigkeit des Körpers $v$; denn die Flüssigkeit muß um die feste Masse von unten nach oben herumströmen. Für eine Kugel haben wir bei einem Fallen von $h = 2r$ den äußeren Umweg zu $r\pi$ anzunehmen; also ist hier $v_w = \frac{\pi}{2} v$; bei einem Zylinder mit der Höhe $h$ und dem Radius der Basis $r$ ist der Umweg der Flüssigkeit $2r + h$ gegenüber $h$, der Fall-Länge des Körpers, also $v_w = \frac{2r + h}{h} v$. Doch hat sich im Vergleich mit einigen Beobachtungen ergeben, daß bei Kugeln größerer Dimension die Geschwindigkeit der Flüssigkeit $v_w$ ziemlich gleich zu setzen ist der Fallgeschwindigkeit $v$, und zwar vermutlich deshalb, weil bei größeren Massen mit großem spezifischen Gewicht der Fall ein sehr rascher ist, wobei die Flüssigkeit rasch entgegenströmen muß und die seitliche Einbiegung keine besondere Änderung der lebendigen Kraft gegenüber der der normalen Aufströmung erfordert. Für diese verschiedenen Verhältnisse $\frac{v_w}{v}$ wollen wir den Ausdruck $\varepsilon$ einsetzen. Er schwankt zwischen 1 und einem höheren Wert; beim Zylinder, der flach oder plattenförmig erscheint, wird dieser Wert $\varepsilon$ recht groß. Wenn eine Platte sich in horizontaler Lage im Wasser senkt, so wäre z. B. $r = 2h$ einzusetzen, d. h. der Durchmesser der Platte wäre viermal so groß als die Plattendicke. Dann wäre $\varepsilon = 5$.

Die allgemeine Gleichung hat sonach die Form

$$\sigma h v \frac{dv}{dz} = (\sigma - \varrho) g h - \varrho \cdot \frac{\varepsilon^2 v^2}{2}. \qquad (1)$$

Da $dz = v\,dt$, folgt

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(\sigma - \varrho) g}{\sigma} - \frac{\varrho \varepsilon^2}{2 \sigma h} v^2. \qquad (2)$$

Man hat mehrmals versucht, den Widerstand von Kugeln festzustellen, die im Wasser horizontal gezogen werden. Dieser Widerstand ist aus Gleichung (2) leicht zu berechnen, wenn wir die Schwere $g$ weglassen, also $v$ für horizontale Richtung verwenden. Dann ist $\frac{dv}{dt} = -\frac{\varrho \varepsilon^2 v^2}{2 \sigma h}$ und der Widerstand einer Kugel wird, da $h = 2r$:

$$W = -m \frac{dv}{dt} = -\frac{4}{3} r^3 \pi \sigma \frac{dv}{dt} = \frac{\pi \varrho}{3} r^2 \varepsilon^2 v^2. \qquad (3)$$

Bei den Versuchen, wo Kugeln an Leinen durchs Wasser gezogen wurden, können wir $\varepsilon = 1$ setzen, weil es sich um große Kugeln handelt. In Forchheimers Hydraulik sind Beobachtungsergebnisse über diesen Widerstand angegeben. Die Newtonsche Formel lautet: $\frac{0{,}5 \pi \varrho r^2 v^2}{2}$; Eytelwein fand statt 0,5 den Wert 0,79. Die theoretische Formel (3) liegt den Beobachtungsergebnissen ziemlich nahe. Setzen wir $W = \frac{\pi \varrho r^2 v^2}{2} \cdot \frac{2}{3}$ analog den empirischen Formeln, so erscheint der Faktor $\frac{2}{3} = 0.67$ gerade in der Mitte liegend zwischen dem Newtonschen Wert 0,5 und dem von Eytelwein 0,79. Es läßt sich also mit Sicherheit betonen, daß der Widerstand einer durch eine Flüssigkeit gezogenen Kugel wesentlich in der Schaffung einer lebendigen Kraft der Flüssigkeit besteht, die sich von der Vorderseite an die Rückseite der Kugel bewegen muß. Diese lebendige Kraft wird später allmählich durch innere Reibung der Flüssigkeit in Wärme umgesetzt werden.

Für einen Körper, der ins Wasser fällt, kann die Geschwindigkeit $v$ als abhängig von $z$ (nach Formel (1)) und als abhängig von $t$ (nach Formel (2)) leicht berechnet werden.

Sie ergibt sich zu:

$$v = \frac{1}{\varepsilon} \sqrt{\frac{2gh(\sigma - \varrho)}{\varrho} - \frac{2}{\varrho}\left[(\sigma - \varrho) g h - \frac{\varrho}{2} \varepsilon^2 v_0^2\right] e^{-\frac{\varrho \varepsilon^2 z}{\sigma h}}}, \qquad (4)$$

wobei $v_0$ für $z = 0$ die Anfangsgeschwindigkeit an der Oberfläche des Wassers ist, ferner:

$$v = g \frac{(v_0 + g)\, e^{\frac{\varrho \varepsilon^2 g t}{\sigma h}} + v_0 - g}{(v_0 + g)\, e^{\frac{\varrho \varepsilon^2 g t}{\sigma h}} - v_0 + g}, \qquad (5)$$

[1]) $z$ vertikal nach abwärts.

wobei $q = \sqrt{\frac{2gh(\sigma - \varrho)}{\varrho \varepsilon^2}}$; hier ist $v_0$ die Anfangsgeschwindigkeit für $t = 0$. Die Endgeschwindigkeit ergibt sich als schließliche konstante Geschwindigkeit zu $v_1 = \sqrt{\frac{2gh(\sigma - \varrho)}{\varrho \varepsilon^2}} = q$.

Über das Sinken von Sand in Wasser hat A. Ludin[1]) Beobachtungen von Ing. Bölsterli-Gürtnellen mitgeteilt, die sich auf die Tiefe $z$ im Wasser zur Zeit $t$ beziehen. Wenn wir $v_0 = 0$ setzen, so ergeben sich aus obigen Gleichungen die folgenden Formeln ($z$ als Funktion von $t$, bzw. $t$ als Funktion von $z$) des Abfallens von Körpern in einer Flüssigkeit:

$$z = \frac{2\sigma h}{\varrho \varepsilon^2} \lg \frac{e^{\frac{\varrho \varepsilon^2 q t}{\sigma h}} + 1}{2} - qt \qquad (6)$$

$$t = \frac{\sigma h}{\varrho \varepsilon^2 q} \lg \frac{1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{\varrho \varepsilon^2 z}{\sigma h}}}}{1 - \sqrt{1 - e^{-\frac{\varrho \varepsilon^2 z}{\sigma h}}}}. \qquad (7)$$

Nach den Kurven in Ludins Buch handelt es sich um die Zeit des Absinkens von Sandkörnern geringer Größe bis zu 1 und 2 m Tiefe. Demgemäß ist in Gleichung (7) der Wert $e^{-\frac{\varrho \varepsilon^2 z}{\sigma h}}$ so klein, daß wir die letzte Gleichung kürzen können. Sie ergibt

$$t = \frac{\sigma h}{\varrho \varepsilon^2 q} \lg 4 + \frac{z}{q} - \frac{\sigma h}{2 \varrho \varepsilon^2 q} e^{-\frac{\varrho \varepsilon^2 z}{\sigma h}}.$$

Für die Dichte der Sandkörner nehme ich $\sigma = 2{,}5$ an, obwohl der Wert $\sigma$ bei den Beobachtungsergebnissen nicht erwähnt ist. Da der Durchmesser der Sandteilchen zwischen $h = 0{,}05$ cm und 2,67 cm liegt, wird für $z = 100$ cm und $z = 200$ cm das erste und dritte Glied in der Gleichung für $t$ sehr gering, so daß wir einfach $t = \frac{z}{q}$ berechnen können.

Die kleinen Körner fallen langsamer, wobei die Gegenströmung des Wassers größer ist als die Fallgeschwindigkeit; für Kugeln ist daher $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$ einzusetzen. Nur bei größeren Körnern nähert sich tatsächlich die Gegenströmung des Wassers im Durchschnitt der Fallgeschwindigkeit selbst, so daß dann $\varepsilon = 1$ ist. Wir wollen sonach die beiden Bedingungen $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$ und $\varepsilon = 1$ in die Formel $t = \frac{z}{q}$ einsetzen und für die verschiedenen Korngrößen, die Bölsterli beobachtet hat, die Rechnungswerte $t$ zu den Beobachtungswerten hinzusetzen, um die Gleichung nach den Messungsergebnissen kontrollieren zu können.

Berechnung ($t_b$) und Messung ($t_m$) der Fall-Zeit bei verschiedenen $h$-Werten

| $h$ | Für $z = 100$ cm | | | Für $z = 200$ cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $t_b$ | | | $t_b$ | | |
| | $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$ | $\varepsilon = 1$ | $t_m$ | $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$ | $\varepsilon = 1$ | $t_m$ |
| 0,05 cm | 13,0 | 8,2 | 14,8 | 26 | 16,4 | 35 sec |
| 0,094 „ | 9,4 | 6,0 | 7,3 | 18,8 | 12,0 | 18,0 „ |
| 0,223 „ | 6,1 | 3,9 | 4,6 | 12,2 | 7,8 | 10,7 „ |
| 0,36 „ | 3,8 | 2,5 | 3,2 | 7,6 | 4,9 | 6,9 „ |
| 0,83 „ | 3,2 | 2,0 | 2,5 | 6,3 | 4,0 | 5,4 „ |
| 1,24 „ | 2,6 | 1,7 | 2,0 | 5,2 | 3,3 | 4,3 „ |
| 1,79 „ | 2,1 | 1,4 | 1,6 | 4,3 | 2,8 | 3,5 „ |
| 2,67 „ | 1,8 | 1,1 | 1,2 | 3,5 | 2,3 | 2,6 „ |

Bei den Körnern mit Durchmesser 0,05 cm bis 0,8 cm erscheinen die Berechnungen für $\varepsilon = \frac{\pi}{2}$ den Messungen ähnlich. Bei noch größeren Körnern, namentlich bei $h = 2$ cm, stimmen die Rechnungen für $\varepsilon = 1$ besser mit den Messungen überein.

Die Messungen der Fallgeschwindigkeit von sehr kleinen Sandkörnern im Wasser, die Ing. Krey[2]) publiziert hat, stimmen auch der Größenordnung nach mit meinen Formeln überein, was in einer früheren Arbeit erwähnt wurde[2]).

Die Endgeschwindigkeit $v_1 = q$ beim Fallen von Kugeln im Wasser wurde seinerzeit auch von S. Allén[3]) gemessen, und zwar mit Stahlkugeln von einigen Millimetern Radius. Diese Fallgeschwindigkeiten betrugen für $r = 0{,}159$ cm 90,9 cm/sec, für $r = 0{,}396$ cm 133,2 cm/sec. Wenn man den Wert $v_1 = q$ mit $\varepsilon = 1$ und $\sigma = 7{,}5$ rechnet, erhält man im ersten Fall $v_1 = 63{,}6$ cm/sec, im zweiten 100,4 cm/sec, also ziemlich geringere Werte als die beobachteten. Eine nähere Erklärung dieser Unstimmigkeiten ist mir nicht möglich. Da die lebendige Kraft des aufströmenden Wassers durch das Fallen der Kugeln unbedingt einen Widerstand bietet, so kann wohl kaum ein kleinerer Wert als $\varepsilon = 1$ die wahre Fallgeschwindigkeit geben.

Zum Schlusse stelle ich noch eine Tabelle über die Fallgeschwindigkeit $v$ zusammen, die sich beim Einstürzen eines Körpers ins Wasser in verschiedenen Tiefen ergibt, bis sich schließlich eine konstante Endgeschwindigkeit in einer ge-

1) Die Wasserkräfte, Bd. II, Berlin 1913, S. 899.

1) Mitt. d. Versuchsanstalt f. Wasserbau u. Schiffbau, Berlin 1921, Heft 1.

2) Dünenstudien auf der Kurischen Nehrung; Sitzg.-Ber. der Wiener Akad. d. Wiss. 1928 Abt. IIa, 137. Bd., S. 705.

3) Angegeben von Auerbach „Handbuch d. phys. u. techn. Mechanik" Bd. V, Lief. 1.

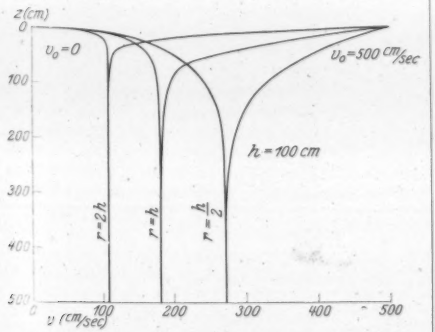
wissen Tiefe ausbildet. Diese Werte sind für kleine und große Steine berechnet, und zwar auf Grund der Gleichung (4); eine Messung solcher Fallgeschwindigkeiten bei größeren Steinen, um die sich Professor Nishi aus Japan interessierte, fehlt noch. Ich gebe hier die Rechnungswerte an, damit einmal gelegentlich eine Kontrolle dieser Rechnung zustande kommt. Für Geschiebe und größere Steine, die ins Wasser fallen, setze ich nicht die Form einer Kugel, sondern die eines Zylinders ein, wobei gedacht ist, daß die Basis des Zylinders horizontal steht, die Höhe derselben vertikal. Die Basis hat den Radius $r$. Ich nehme drei verschiedene Zylinderformen an: 1. $r = \frac{h}{2}$, d. h. der Vertikalquerschnitt ist ein Quadrat; 2. $r = h$, der Querschnitt ist ein Rechteck mit größerer Breite; 3. $r = 2h$, der Querschnitt ist noch breiter, die Form des Zylinders ist einer Platte ähnlich. Das Verhältnis der Wassergeschwindigkeit zur Fallgeschwindigkeit hat beim Zylinder den Wert $\varepsilon = \frac{h + 2r}{h}$; sonach ist

$$\text{für } r = \frac{h}{2}: \quad \varepsilon_1 = 2$$

$$,, \quad r = h: \quad \varepsilon_2 = 3$$

$$,, \quad r = 2h: \quad \varepsilon_3 = 5.$$

Der Größe nach sind weiter drei Zylinder angenommen, und zwar für $h = 1$ cm, 10 cm und




100 cm. Als spezifisches Gewicht dieser Steine wurde wieder $\sigma = 2{,}5$ eingesetzt. Schließlich nehme ich zwei Anfangsgeschwindigkeiten $v_0$ an: im ersten Fall $v_0 = 0$, d. h. an der Oberfläche des Wassers beginnt der Stein zu fallen; im zweiten Fall $v_0 = 500$ cm/sec, d. h. der Stein fällt aus größerer Höhe ins Wasser herab. Im letzten Fall kann dann die ursprüngliche Frage beantwortet werden, mit welcher Geschwindigkeit der Stein auf den Boden des Wassers fällt, wenn er von einer Wehr herabstürzt.

Die Berechnung der Werte $v$ ist im folgenden für die drei verschiedenen Steingrößen getrennt dargestellt, wobei die drei verschiedenen Formen nach $\varepsilon$ nebeneinanderstehen.

Fallgeschwindigkeit für $h = 1$ cm

| | $v_0 = 0$ | | | $v_0 = 500$ cm/sec | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $z$ | $\varepsilon = 2$ | 3 | 5 | $\varepsilon = 2$ | 3 | 5 |
| 0,1 cm | 10,4 | 9,9 | 8,6 | 461 | 417 | 303 cm/s |
| 0,5 ,, | 20,1 | 16,5 | 10,8 | 336 | 204 | 42 ,, |
| 1 ,, | 24,2 | 17,8 | 10,8 | 226 | 85 | 11,4 ,, |
| 2 ,, | 26,6 | 18,1 | 10,8 | 104 | 22,7 | 10,8 ,, |
| 3 ,, | 27,0 | 18,1 | 10,8 | 53 | 18,2 | 10,8 ,, |
| 5 ,, | 27,1 | 18,1 | 10,8 | 28,6 | 18,1 | 10,8 ,, |
| 10 ,, | 27,1 | 18,1 | 10,8 | 27,1 | 18,1 | 10,8 ,, |

Fallgeschwindigkeit für $h = 10$ cm

| | $v_0 = 0$ | | | $v_0 = 500$ cm/sec | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $z$ | $\varepsilon = 2$ | 3 | 5 | $\varepsilon = 2$ | 3 | 5 |
| 1 cm | 33,0 | 31,4 | 27,3 | 463 | 418 | 304 cm/s |
| 2 ,, | 44,9 | 41,0 | 31,9 | 428 | 351 | 187 ,, |
| 5 ,, | 63,7 | 52,2 | 34,2 | 341 | 210 | 134 ,, |
| 10 ,, | 76,6 | 56,4 | 34,3 | 237 | 100 | 34,5 ,, |
| 20 ,, | 84,0 | 57,2 | 34,3 | 131 | 71,5 | 34,3 ,, |
| 30 ,, | 85,4 | 57,2 | 34,3 | 96,8 | 57,2 | 34,3 ,, |
| 50 ,, | 85,8 | 57,2 | 34,3 | 86,3 | 57,2 | 34,3 ,, |
| 100 ,, | 85,8 | 57,2 | 34,3 | 85,8 | 57,2 | 34,3 ,, |

Fallgeschwindigkeit für $h = 100$ cm

| | $v_0 = 0$ | | | $v_0 = 500$ cm/sec | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $z$ | $\varepsilon = 2$ | 3 | 5 | $\varepsilon = 2$ | 3 | 5 |
| 5 cm | 75,2 | 73,4 | 68,1 | 486 | 463 | 395 cm/s |
| 10 ,, | 104 | 99 | 86,3 | 473 | 429 | 315 ,, |
| 20 ,, | 142 | 130 | 101 | 449 | 372 | 209 ,, |
| 50 ,, | 201 | 165 | 108 | 391 | 262 | 115 ,, |
| 100 ,, | 242 | 178 | 108 | 330 | 197 | 108 ,, |
| 200 ,, | 266 | 181 | 108 | 284 | 185 | 108 ,, |
| 300 ,, | 270 | 181 | 108 | 274 | 181 | 108 ,, |
| 500 ,, | 271 | 181 | 108 | 271 | 181 | 108 ,, |
| 1000 ,, | 271 | 181 | 108 | 271 | 181 | 108 ,, |

Die Fallgeschwindigkeit nimmt, wenn anfangs $v_0 = 0$ ist, ihre Endgeschwindigkeit schon in geringerer Tiefe an, als wenn der Stein mit großer Geschwindigkeit ins Wasser fällt. Je größer die Körper sind, um so größer ist natürlich $v$. In der Figur ist die Fallgeschwindigkeit in ihrer Abhängigkeit von der Tiefe unter Wasser für die größten berechneten Zylinder, $h = 100$ cm, unter drei Formen dargestellt. Dazu ist zu bemerken, daß diese drei Zylinderformen nicht die gleiche Masse haben, sondern nur gleiche Höhe $h$.

Die Masse für $r = h$ ist viermal so groß wie die Masse für $r = \frac{h}{2}$, die Masse für $r = 2h$ sogar 16mal so groß. Obwohl sonach der dritte Körper ($\varepsilon = 5$) viel schwerer ist als der erste ($\varepsilon = 2$), ist doch seine Fallgeschwindigkeit wesentlich kleiner, weil er sich der Plattenform nähert.

Wenn wir Körper gleichen Volumens (oder Gewichtes) unter gleichen Formen wie bisher betrachten, und für diese die Endgeschwindigkeiten $v_1$ berechnen, so ergeben sich, unter Benutzung der Werte $h = 1$, 10, 100 cm bei der ersten Form $r = \frac{h}{2}$, ($\varepsilon_1$), die folgenden Endgeschwindigkeiten:

| | Volumen $\frac{\pi}{4}$ cm³ | $\frac{10^3\pi}{4}$ cm³ | $\frac{10^6\pi}{4}$ cm³ |
|---|---|---|---|
| für $\varepsilon_1 = 2$ | $v_1 = 27{,}1$ cm/s | 85,8 cm/s | 271 cm/s |
| „ $\varepsilon_2 = 3$ | 14,4 „ | 45,3 „ | 144 „ |
| „ $\varepsilon_3 = 5$ | 6,8 „ | 21,6 „ | 68,3 „ |

Eine gegebene Zylindermasse, wo anfangs der Durchmesser der Basis gleich ist der Höhe, hat den größten Wert $v_1$; bekommt dann diese Masse mehr die Plattenform, so wird die Fallgeschwindigkeit bedeutend geringer. Bei konstantem Volumen $V$ erscheint $v_1$ als abhängig von $\varepsilon$ in der Form $v_1 = \sqrt{\frac{2g(\sigma - \varrho)}{\varrho\varepsilon^2}} \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi(\varepsilon-1)^2}}$. Ist z. B. der Durchmesser der Basis 1,59 mal größer als im ersten Fall ($\varepsilon = 2$), so wird $v_1$ fast viermal kleiner. Eine Prüfung dieser theoretischen Berechnung mittels Messungen solcher Fallerscheinungen wäre wünschenswert.

(Eingegangen 3. Mai 1929.)

## Über die Sauggeschwindigkeit einer rotierenden Ölpumpe.

Von M. Czerny u. H. Murmann.

Vorliegende Untersuchung wurde unternommen, um bei einer rotierenden Ölpumpe Aufschluß zu erlangen über die Abhängigkeit der Sauggeschwindigkeit vom Druck und den Einfluß, den eine zwischen Pumpe und Rezipient angeordnete Leitung auf die Sauggeschwindigkeit ausübt. Die Messungen wurden an einer Ölluftpumpe der Firma Leyboldt vorgenommen, deren Sauggeschwindigkeit bei Atmosphärendruck zu 415 cm³/sec und deren Grenzvakuum mit $2 \cdot 10^{-2}$ mm $Hg$ angegeben war.

Um zunächst die Druckabhängigkeit der Sauggeschwindigkeit ohne Zwischenleitung zu bestimmen, wurde direkt auf dem Schliff der Pumpe eine $^1/_2$ l fassende Kugel[1]) angebracht, von der zwei Leitungen abgingen, eine zum Mc Leod und eine andere zu den Vorrichtungen, die zur Druckregelung und zur Messung der Sauggeschwindigkeit dienten. In dieser zweiten Leitung war ein Hahn angeordnet, durch den man Luft in kontinuierlichem Strom in die Kugel einströmen lassen und auf diese Weise einen beliebigen stationären Druckzustand einstellen konnte. Der Hahn besaß eine seitliche und eine untere Zuführung und ein hohles Küken, auf dessen geschliffener Mantelfläche von der Öffnung ausgehend eine etwa 5 mm lange Rinne von abnehmender Tiefe eingefeilt war (s. Fig. 1).

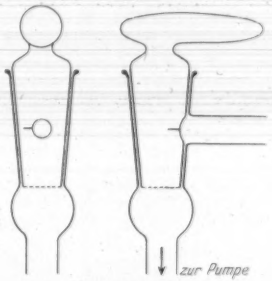



Fig. 1.

Es gelang damit sehr bequem, den Luftstrom innerhalb weitester Grenzen zu variieren und jeden beliebigen Druck einzustellen.

Um die in der Sekunde durch den Hahn einströmende Luftmenge messen zu können, führte von dem Hahn eine Leitung zu dem oberen Ende eines vertikalen kalibrierten Rohres, das mit dem unteren Ende in ein mit Quecksilber oder Öl gefülltes Gefäß hineinragte. Zu Beginn der Messung wurde die untere Öffnung durch Heben des Flüssigkeitsspiegels verschlossen. Dann wurde die Flüssigkeit durch die Pumpe in dem Rohr hochgesaugt, wobei durch entsprechendes Heben des äußeren Gefäßes darauf geachtet werden mußte, daß die Luft im Rohr unter Atmosphärendruck blieb. Auf diese Weise wurde ermittelt, wieviel cm³ Luft von Atmosphärendruck in einem gemessenen Zeitraum von einigen Sekunden bis mehreren Minuten einströmten. Gleichzeitig wurde mit dem Mc Leod der Druck in der Kugel und die Umdrehungszahl der Pumpe bestimmt.

Die Sauggeschwindigkeit $S$ einer Pumpe beim Druck $p$ ist definiert als die Anzahl cm³ Gas vom Drucke $p$, die die Pumpe pro Sekunde absaugt. Wenn die Pumpe also $v$ cm³ Luft von 760 mm $Hg$ Säule ansaugt, so ist die Sauggeschwindigkeit $S = v\frac{760}{p}$.

1) Ihr Volumen erwies sich als ausreichend, denn eine Wiederholung der Messung mit einer 4 l-Kugel führte zu demselben Resultat.

Die Tourenzahl der Pumpe wies Schwankungen von mehreren Prozent auf und war abhängig von dem eingestellten Druckzustand. Die in der Fig. 2 gestrichelt gezeichnete Kurve gibt die mittleren Umdrehungszahlen an. Traten Abweichungen von ihnen ein, so wurden die beobachteten Sauggeschwindigkeiten auf diese mittleren Tourenzahlen reduziert.

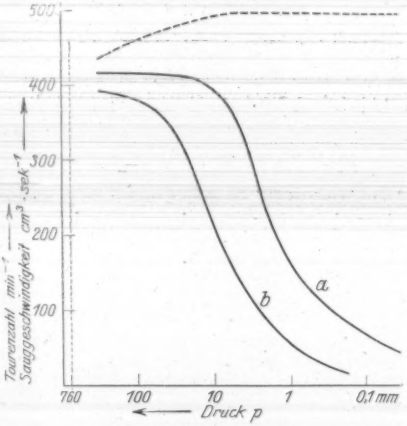



Fig. 2.

Das Ergebnis einer solchen Meßreihe von Sauggeschwindigkeiten bei verschiedenen Drukken zeigt Kurve *a* (Fig. 2). Die Sauggeschwindigkeit bleibt bis herab zu etwa 20 cm *Hg*-Säule auf ihrem Maximalwert (415 cm³/sec) konstant, um dann schnell und nachher langsamer abzunehmen. Das Grenzvakuum schwankte je nach der Betriebsdauer der Pumpe zwischen 1,0 und $0{,}5 \cdot 10^{-2}$ mm.

Um den Einfluß einer Leitung zwischen Pumpe und Rezipient auf die Sauggeschwindigkeit festzustellen, wurden die Messungen wiederholt, nachdem zwischen Pumpe und Kugel ein 1 m langes Rohr von 4,6 mm Innendurchmesser (Durchmesser des normalen Vakuumschlauches) geschaltet worden war. Auf diese Weise wurde Kurve *b*, Fig. 2, gewonnen. Sie zeigt, daß die Sauggeschwindigkeit der Pumpapparatur durch die Einschaltung des Rohres wesentlich herabgesetzt wird. Der eigentliche Grund hierfür ist der Druckabfall in dem 1 m langen Rohr, der sich nach dem Poiseuilleschen Gesetz einigermaßen rechnerisch verfolgen ließ.

Es wurde noch ein weiterer Versuch gemacht, die Sauggeschwindigkeit der Pumpe zu erhöhen, indem das aus dem Inneren der Pumpe herausführende Rohr von 6,2 mm Durchmesser durch ein weiteres von 20 mm Durchmesser ersetzt wurde. Er brachte jedoch nur eine unwesentliche Verbesserung.

Zum Schluß sei noch angeführt, daß sich bekanntlich die Evakuierungszeiten eines Volumens $v$ mit einer Pumpanordnung der Sauggeschwindigkeit $S$ berechnen nach der Formel

$$t = v \int_{p_1}^{p_2} \frac{dp}{p\,S(p)} = v \int_{\ln p_1}^{\ln p_2} \frac{1}{S(p)}\, d(\ln p)\,.$$

Nur insofern $S$ für ein beschränktes Intervall als druckunabhängig angesehen werden kann, ergibt sich:

$$t = \frac{v}{S} \ln \frac{p_2}{p_1}\,.$$

Zusammenfassung. Die Sauggeschwindigkeit einer rotierenden Ölpumpe wird in Abhängigkeit vom Druck gemessen direkt hinter dem Pumpenstutzen und hinter einem längeren Stück Leitungsrohr. Die Ergebnisse sind in einem Diagramm zusammengestellt.

Berlin, Physikalisches Institut der Universität, April 1929.

(Eingegangen 24. Mai 1929.)

## Ein Diagramm der physikalischen Eigenschaften der Kristalle.

Von Jakob Kunz.

In den in Boston gehaltenen Vorlesungen hat M. Born ein Diagramm dieser Eigenschaften gegeben, jedoch mit Ausschluß der magnetischen Erscheinungen. Ich habe dieses Diagramm zu ergänzen gesucht in der Fig. 1, die ein dreieckiges Prisma darstellt. Auf der unteren Fläche

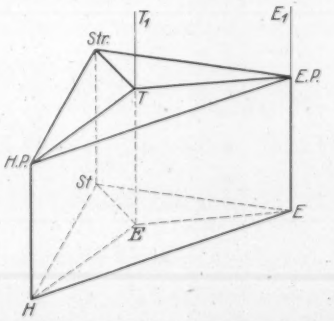



Fig. 1.

bedeuten die Punkte: $H$ = magnetische Kraft; $\mathsf{E}$ = elektrische Kraft; $E$ = Energie; $St$ = Stress; auf der oberen Fläche bedeuten $\mathsf{E}P$ = elektrische Polarisation; $HP$ = magnetische Polarisation; $Str$ = Strain; $T$ = Temperatur. Die Verbindungslinien entsprechen den folgenden Eigenschaften: $E$—$T$ = spezifische Wärme; $\mathsf{E}$—$\mathsf{E}P$ = dielektrische Konstante; $H$—$HP$ = magnetische Suszeptibilität; $St$—$Str$ = elastische Eigenschaften; $\mathsf{E}P$—$Str$ = Elektrostriktion; $HP$—$Str$ = Magnetostriktion; $T$—$Str$ = thermische Expansion; $T$—$\mathsf{E}P$ = Pyroelektrizität; $T$—$HP$ = Pyromagnetismus; $\mathsf{E}P$—$HP$ = elektrisch-magnetischer Effekt; $E$—$H$ = magnetokalorischer Effekt; $E$—$\mathsf{E}$ = elektrokalorischer Effekt; $St$—$E$ = Deformationswärme; $St$—$\mathsf{E}$ = piezoelektrischer Effekt; $St$—$H$ = piezomagnetischer Effekt; $H$—$\mathsf{E}$ = magnetisch elektrischer Effekt. Dieser sowie der analoge, durch die Verbindungslinie $HP$—$\mathsf{E}P$ geforderte Effekt, ist mir nicht bekannt; er wird aber durch das Diagramm zweimal angezeigt. Damit sind aber die physikalischen Eigenschaften der Kristalle noch nicht erschöpft. Es fehlen z. B. noch die Leitfähigkeiten für Wärme und Elektrizität. Diese suche ich anzudeuten durch die beiden Linien, die von $\mathsf{E}P$ nach $\mathsf{E}_1$ — elektrische Leitfähigkeit — und von $T$ nach $T_1$ — Wärmeleitfähigkeit — führen. Die thermoelektrischen Eigenschaften, wie die thermoelektromotorische Kraft zwischen zwei verschiedenen Kristallen, sind von diesem Diagramm prinzipiell ausgeschlossen. Endlich aber hängen die optischen Eigenschaften wesentlich mit der Dielektrizitätskonstanten, der magnetischen Permeabilität, der elektrischen Leitfähigkeit und dem elastischen Spannungszustand zusammen, Eigenschaften, die in der Fig. durch vertikale Verbindungslinien gegeben sind.

Urbana, Illinois. Universität von Illinois.

(Eingegangen 11. Februar 1929.)

## Bemerkung zu den Messungen der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

Von H. Maurer.

Die Zusammenstellung über Lichtgeschwindigkeitsmessungen in der Arbeit von Herrn Mittelstaedt (Physik. Zeitschr. **30**, 166, 1929, Tabelle I) zeigt die sonderbare Tatsache, daß die gemessenen Werte der Lichtschnelle im Laufe der Jahre kleiner zu werden scheinen. Dies legt den Gedanken nahe, daß vielleicht eine einseitige Fehlerquelle vorhanden ist, die zu große Werte liefert, so daß mit der Verbesserung der Beobachtungen allmählich kleiner werdende Werte gefunden werden. Die angegebenen Höchstfehler des Gesamtergebnisses werden im großen Ganzen mit der Zeit kleiner; und es ist merkwürdig, wieviel näher sich die Messungswerte kommen, wenn man bei jedem den angegebenen Höchstfehler mit negativem Vorzeichen anbringt. Dies zeigt die folgende Tabelle:

Lichtgeschwindigkeit im Vakuum.

| Jahr | Autor | Bemerkung | Mittelwert | Abweichung vom Mittel | Mindestwert | Abweichung vom Mittel |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1874 | Coren | berechn. v. Helmert | 299 990 | + 110 | 299 790 | − 15 |
| 1879 | Michelson | endgültig | 910 | + 30 | 860 | + 55 |
| 1882 | Newcomb | „ | 860 | − 20 | 830 | + 25 |
| 1882 | Michelson | „ | 853 | − 27 | 793 | − 12 |
| 1900 | Perrotin | Zwischenwert | 900 | + 20 | 820 | + 15 |
| 1900 | „ | „ | 300 032 | + 152 | 817 | + 12 |
| 1901 | „ | „ | 299 880 | 0 | 830 | + 25 |
| 1902 | „ | „ | 860 | − 20 | 780 | − 25 |
| 1902 | „ | endgültig | 901 | + 21 | 817 | + 12 |
| 1924 | Michelson | vorläufig | 802 | − 78 | 772 | − 33 |
| 1926 | „ | noch weiter zu führen | 796 | − 84 | 792 | − 13 |
| 1928 | Karolus-Mittelstaedt | vorläufig | 778 | − 102 | 758 | − 47 |
| | | Mittel | 299 880 | | 299 805 | |

Die scheinbare Abnahme mit der Zeit bleibt freilich auch so noch erhalten; die mittleren Mindestwerte sind für

1874 — 1882 : 299818
1900 — 1902 : 299813
1924 — 1928 : 299774

Berlin, Juni 1929.

(Eingegangen 6. Juni 1929.)

Für die Schriftleitung verantwortlich Prof. Dr. F. Harms in Würzburg. — Verlag S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig